

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Industriel

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur

Thème

**Conception d'un composant logiciel d'aide à la définition
d'une taxonomie relative aux AMDECs**

Présenté par :

M. CAMARA Mema
M. NDAYISHIMIYE Eric

Proposé et encadré par :

M. BABACI Said
Directeur DELTALOG

Co-encadré par :

M^{me} BENCHERIF

Remerciements

Nous tenons à témoigner notre profonde gratitude à Monsieur Said BABACI pour avoir respectivement proposer et co-encadrer ce projet de fin d'étude, pour nous avoir guidé et pour nous avoir conseillé.

Nous devons une reconnaissance à tout le personnel de DELTALOG pour l'aide, la sympathie et le soutien qu'ils nous ont offert tout au long de notre stage.

Nous remercions vivement les membres du jury, d'avoir accepté de lire ce travail afin d'apporter leur précieux jugement.

Nos remerciements vont aussi également au corps professoral du département génie industriel, d'avoir contribué à notre formation, et nous tenons à remercier spécialement notre co-encadreur au niveau de l'école Mme BENCHERIF pour ses conseils, ses orientations et surtout pour ses encouragements.

Enfin, nous remercions toute personne intervenant dans l'enrichissement de ce travail.

*A mes très chers parents, pour leurs sacrifices,
encouragements et leur présence à tout moment.*

A mes frères, ma sœur, mon neveu

A toute ma famille et mes amis (es)

Je dédie ce travail

Mema

A ma mère, SIBOBANDEMYE Immaculée,

A toute ma famille,

A tous ceux pour qui je compte et comptent pour moi,

Je dédie ce travail.

Eric

Préface

Le travail présenté ci-après rentre dans le cadre des activités R&D de DELTALOG. Il a commencé il y a plus de 3 ans sous la forme de projets d'ingénieur en fin d'études réalisés chez General Electric Medical Systems (GEH actuellement) en France et cela deux fois de suite -2003-2004 et 2004-2005.

Pour l'année 2006-2007, une suite à ce projet a été défini et sponsorisé¹ par l'association IBNSINA, pour sa 3ème année de contribution en Algérie, (voir: <http://www.ibnsina-dz.org>) pour le compte de DELTALOG « Conseil et Ingénierie des Systèmes d'information ».

Cette association a pour but de promouvoir les activités de recherche & développement mettant en jeu des universitaires et industriels en Algérie et en France dans le cadre de la coopération franco- algérienne.

Les objectifs et principes fondateurs de l'association sont les suivants :

- Permettre, entre autres, aux ressortissants algériens résidant à l'étranger de contribuer à la dynamique économique de leur pays en apportant leur aide, expertise et expérience en utilisant le canal de l'association qui jouera ainsi le rôle de passerelle technologique.
- Prendre en charge localement (en Algérie) des projets de type R&D en créant des conditions de travail, de recherche et d'encadrement appropriées en partenariat avec les acteurs économiques algériens (vivier de compétences).
- Contribuer à l'adéquation permanente des besoins de l'industrie locale (et mondiale) avec les axes de recherche et d'enseignement des universités, instituts ou écoles algériennes (veille technologique, séminaires de formation, publications).

Enfin IBNSINA se donne les grands axes d'actions et de réflexions suivants:

- Contribution au transfert de technologie entre l'université et l'industrie par des actions de parrainage mettant l'étudiant algérien au centre de ces activités.
- Contribution à la mise en place du concept de la « Open R&D » permettant le développement et l'accès libre aux projets R&D jugés d'intérêt public.
- Contribution à l'organisation d'activités permettant des échanges et des études autour des problématiques économiques, industrielles et sociales en Algérie.

En ma qualité de président d'IBNSINA je remercie, tous ses membres actifs et adhérents de leurs engagements, contributions et aides.

M. Said BABACI
Directeur de DELTALOG

¹ Une bourse est allouée pour les étudiants et un encadrement et coaching et assurée par IBNSINA.

Résumé :

La principale raison d'être d'une AMDEC est la prévention et l'amélioration de la Qualité, au sens large, d'un produit et/ou d'un processus Industriel. La mise en oeuvre de l'AMDEC suit un processus normalisé (standard) connu et reconnu depuis des années. Mais l'évolution du monde de la technologie et du service a donné naissance à une multitude d'« objets » d'utilité publique et/ou professionnelle. De plus, la compétitivité des entreprises, fait en sorte que le temps devient un facteur clef de succès dans le sens, où un produit doit être mis sur le marché le plus vite possible. De l'autre coté, moins on passe de temps à étudier et concevoir un produit et plus on prend des risques de compromettre la Qualité de ce produit! Un constat s'impose: la méthode « classique » de mise en oeuvre d'AMDEC ne suffit plus.

Le travail présenté tente d'apporter des solutions pratiques: proposer une démarche systématique et informatique pour optimiser le temps de conception en permettant la création de librairie, réduire le coût de mise en oeuvre en permettant un travail de groupe (délocalisé) par la notion de décomposition fonctionnelle hiérarchique et, enfin, garantir la cohérence de l'AMDEC en suivant et implémentant une démarche basée sur la modélisation Ontologie/Taxonomie des systèmes.

Mots clés : AMDEC, Analyse fonctionnelle, AMDEC hiérarchique, Ontologie, Taxonomie, contrôle du vocabulaire d'AMDEC.

ملخص

السبب الرئيسي لكون الدراسة التحليلية لطرق العطل هي حماية و تطوير الجودة بمعنى أوسع لمنتوج أو لسلسلة صناعية. تطبيق الدراسة التحليلية لطرق العطل يتبع سلسلة منضمة (معيارية) معروف و معترف به منذ زمن. لكن تطور عالم التكنولوجيا و الخدمات أعطى ولادة عدد كبير من "المواد" ذات الاستعمالات العامة و المهنية. إضافة ال ذلك فان تنافسية المؤسسات جعل الوقت مفتاح النجاح في معنى أن المنتج يجب أن يوضع في السوق في أسرع وقت ممكن. من ناحية أخرى كلما ننقص الوقت في دراسة المنتج كلما أخذنا مخاطر اكبر في المجازفة بالجودة. ادن يمكن القول ان الطريقة التقليدية لإنشاء الدراسة التحليلية لطرق العطل أصبحت غير مجدية العمل المقدم في طبعته الثالثة هدفه جلب الحلول التطبيقية عرض طريقة منسقة و حاسوبية لتقليص مدة الإنشاء بالسماح بإنشاء مكتبة تقليص كلفة الإنشاء و ذلك بالسماح بعمل جماعي وذلك بمفهوم التحليل الوظيفي التدريجي. أخيرا ضمان تماسك الدراسة التحليلية لطرق العطل بإتباع و تطبيق طريقة تعتمد على مفهوم الانتولوجيا و الترتيب للطرق **كلمات مفتاحيه** تحليل وظيفي. الدراسة التحليلية لطرق العطل. الدراسة التحليلية لطرق العمل التدريجية الانتولوجيا. الترتيب. مراقبة مفردات الدراسة التحليلية لطرق العطل.

Abstract:

The principal reason of being FMEA is the prevention and the improvement of Quality, in the broad sense, of a product and/or an Industrial process. The implementation of the FMEA follows a known standardized (standard) processus and recognized since years. But the evolution of the world of technology and the service gave rise to a multitude of "objects" of public and/or professional utility. Moreover, the competitiveness of the companies makes time become a key factor of success in all factors where a product must be put on the market as quickly as possible. In other side, as less we spend time to study and to design a product, more we take risk to compromise the Quality of this product! A report is essential: the "traditional" method of implementation of FMEA is not enough any more.

The work presented tries to bring practical solutions: to propose a systematic and data-processing step to optimize the time of design by allowing the creation of a library, to reduce the cost of implementation by allowing a work of group (delocalized) by the concept of functional hierarchical decomposition, finally, to guarantee the coherence of the FMEA while following and implementing a step based on Ontologie/Taxonomie modeling of the systems.

Key words: FMEA, Functional analysis, Hierarchical FMEA, Ontology, Taxonomy, FMEA vocabulary control.

Table des matières

Introductions	2
----------------------------	---

Chapitre I : Concepts et définitions de l'AMDEC

<i>Introduction</i>	5
1 Généralités	5
1.1 Historique	5
1.2 Définition	5
1.3 Dans quel but utiliser l'AMDEC ?.....	6
1.4 Quand utiliser l'AMDEC ?.....	7
2 Caractéristiques essentielles de l'AMDEC.....	8
3 Les différents types d'AMDEC.....	8
3.1 L'AMDEC produit.....	8
3.1.1 Au stade de l'analyse fonctionnelle.....	8
3.1.2 Au stade de la définition du produit.....	9
3.2 L'AMDEC process ou procédé.....	9
3.3 L'AMDEC machine.....	10
3.3.1 Au stade de l'analyse des fonctions ou des séquences.....	10
3.3.2 Au stade de la définition de la machine.....	10
3.4 L'AMDEC service.....	11
4 Les compétences nécessaires pour réaliser une AMDEC.....	11
5 Le groupe AMDEC.....	12
6 L'organisation matérielle.....	12
7 Analyse Fonctionnelle.....	13
7.1 Principe de l'analyse fonctionnelle.....	13
7.1.1 Notion de système.....	13
7.1.2 Notion de fonction.....	13
7.1.3 Liens inter fonctionnels.....	14
7.1.4 Réalisation de l'étude fonctionnelle.....	15
7.2 Méthodologie.....	15
<i>Conclusion</i>	16

Chapitre II : Mise en œuvre de l'AMDEC

<i>Introduction</i>	18
1 Etape 1 : Initialisation.....	18
2 Etape 2 : Analyse fonctionnelle.....	19
3 Etape 3 : Analyse des défaillances.....	19
3.1 Modes de défaillance.....	19
3.2 Causes des défaillances.....	20
3.3 Effets des défaillances.....	21
3.4 Méthode d'analyse.....	21
3.5 La grille d'AMDEC.....	22
4 Etape 4 : Mesure de criticité.....	23
4.1 Construction des barèmes (échelles) de cotation.....	23

4.2	Evaluation des critères de cotation.....	26
4.3	Calcul de la criticité.....	27
4.4	La grille AMDEC.....	28
5	Etape 5 : Actions.....	30
5.1	Recherche des actions correctives.....	30
5.2	Calcul de la nouvelle criticité.....	30
5.3	La grille AMDEC.....	30
6	Etape 6 : Synthèse de l'AMDEC et Suivi.....	30
6.1	Synthèses.....	30
6.2	Suivi.....	31
	<i>Conclusion</i>	32

Chapitre III : Présentation de l'outil

	<i>Introduction</i>	34
1	L'interface de l'outil.....	34
2	Schéma fonctionnel de l'outil.....	35
2.1	La couche 0 : Modélisation.....	37
2.1.1	Editeur.....	37
2.2	La couche 1 : l'analyse.....	37
2.2.1	Gestion de données de l'AMDEC.....	37
2.2.2	Gestion des connaissances-réutilisation.....	38
2.2.3	Model checking d'AMDEC.....	40
2.3	La couche 2 : Génération des résultats.....	42
2.3.1	Générateur d'AMDECs.....	42
2.3.2	Gestion de formats d'AMDECs.....	42
2.3.3	Génération de la documentation HTML de l'AMDEC.....	42
3	Réutilisation.....	42
3.1	Apports et freins de la réutilisation.....	43
3.2	Organisation de la réutilisation.....	43
3.3	Référentiel des composants réutilisables.....	43
3.4	L'organisation de la réutilisation.....	44
3.5	Conception des composants réutilisables.....	44
	<i>Conclusion</i>	44

Chapitre IV : Notions d'ontologie

	<i>Introduction</i>	46
1	Définitions	46
1.1	Ontologie comme étude de ce qui est.....	46
1.2	Ontologie comme conceptualisation.....	47
1.3	Ontologie comme représentation d'une conceptualisation.....	47
1.4	Ontologie formelle	48
1.5	Différents niveaux d'ontologies.....	48
2	Construction d'une ontologie.....	49
2.1	Principes.....	49
2.2	Définitions des objectifs et utilisation de scénarios.....	49
2.3	Collecte des données.....	50

2.4 Etude linguistique et sémantique.....	50
2.5 Création de concepts.....	51
2.6 Création d'une taxonomie.....	52
2.7 Formalisation.....	52
3 Cycle de vie d'une ontologie.....	53
3.1 Besoins et évaluation.....	53
3.2 Conception et évolution.....	53
3.3 Diffusion.....	54
3.4 Utilisation.....	54
3.5 Gestion.....	55
3.6 Maintenance.....	55
4 Modélisation de la spécialisation : taxonomie.....	55
4.1 Organisation structurelle.....	56
4.2 Organisation ontologique.....	56
4.3 Organisation sémantique.....	60
<i>Conclusion</i>	61

Chapitre V : Réalisation de l'AMDEC basant sur la taxonomie

<i>Introduction</i>	63
1 Approche basée sur les taxonomies.....	63
1.1 Structure de la base de connaissances.....	63
1.2 Ensemble d'anciennes AMDECs.....	63
1.3 Ensemble des connaissances (règles) sémantiques.....	63
2 Taxonomies des systèmes.....	66
3 Taxonomie des fonctions.....	67
4 Taxonomie des modes de défaillances.....	69
5 Relations entre types de taxonomies.....	69
6 Instances de taxonomies.....	71
7 Modélisation des systèmes.....	72
7.1 Block diagrammes fonctionnels.....	72
7.2 Block diagrammes fonctionnels hiérarchiques.....	73
8 Décomposition structurelle du système : outil de modélisation.....	75
9 Recherche des fonctions de service d'un système - Méthode APTE.....	76
9.1 La bête à corne : recherche de la fonction globale.....	76
9.2 La pieuvre.....	76
10 Analyse.....	78
11 Le model checking des AMDECs.....	79
11.1 Nécessité de vérifier les AMDEC.....	80
11.2 Règles de vérification.....	81
11.3 Algorithme général de vérification.....	81
<i>Conclusion</i>	82

Étude de cas

A Système de perçage automatique	84
B Modélisation du système.....	85
1 Block diagrammes fonctionnels.....	85

2	Block diagrammes fonctionnels hiérarchiques.....	88
3	Modélisation SADT.....	89
4	Tableau des fonctions du système, des sous-systèmes et des composants.....	91
C	Grilles d'AMDEC.....	92
	Conclusion	96
	Annexes	98
	Bibliographie	104

Liste des figures :

Chapitre I Concepts et définitions de l'AMDEC

Figure 1.1 : Position de l'AMDEC dans le processus de conception

Figure 1.2 : Liens inter fonctionnels

Chapitre II Mise en œuvre de l'AMDEC

Figure 2.1 : Les 6 étapes de l'AMDEC

Figure 2.2 : Différentes catégories des défaillances

Figure 2.3 : Le diagramme d'ISHIKAWA

Figure 2.4 : Méthode d'analyse de l'AMDEC

Figure 2.5 : Principe d'évaluation de la criticité

Figure 2.6 : Histogramme du nombre cumulé des causes de défaillance en fonction de la criticité

Figure 2.7 : Démarche pratique de synthèse

Chapitre III Présentation d'un outil (FMEA-Sage)

Figure 3.1 : Vue d'ensemble de l'outil FMEA-Sage

Figure 3.2 : Schéma fonctionnel de l'outil

Figure 3.3 : Editeur de FMEA-Sage

Figure 3.4 : Arborescence des éléments d'un projet

Figure 3.5 : Arborescence de la librairie

Figure 3.6 : Sortie du model checking d'AMDECs

Figure 3.7 : Exemple d'histogramme de sévérités d'effets

Chapitre IV Notions d'ontologie

Figure 4.1 : Cycle de vie d'une ontologie

Figure 4.2 : Partie supérieure de toute taxonomie respectant les critères d'identité et le principe de Lowe

Chapitre V Réalisation de l'AMDEC basant sur la taxonomie

Figure 5.1 : Conduite d'une AMDEC

Figure 5.2 : Exemple de taxonomie de systèmes

Figure 5.3 : Exemple de taxonomie de fonctions

Figure 5.4 : Exemple de taxonomie de modes de défaillances

Figure 5.5 : Relations entre types de taxonomies

Figure 5.6 : Exemple d'instance de taxonomie

Figure 5.7 : Représentation de blocks diagrammes fonctionnels d'un système

Figure 5.8 : Représentation d'un système hiérarchique

Figure 5.9 : Outil de modélisation SADT

Figure 5.10 : La bête à cornes

Figure 5.11 : Le diagramme pieuvre

Figure 5.12 : Le contraste cause - mode de défaillance – effet

Figure 5.13 : Exemple d'intégration de composant touchant à la cohérence du modèle

Figure 5.14 : Exemple d'une règle de vérification

Figure 5.15 : Algorithme de vérification des données d'AMDEC

Étude de cas

Figure 1: Schémas simplifié d'un système de perçage automatique

Figure 2: Diagramme fonctionnel hiérarchique

Liste des tableaux :

Chapitre II Mise en œuvre de l'AMDEC

Tableau 2.1 : Indice d'apparition A

Tableau 2.2 : Indice de gravité

Tableau 2.3 : Indice de non détection

Chapitre III Présentation de l'outil

Tableau 3.1: Avantages et inconvénients de la réutilisation

Chapitre IV Notions d'ontologie

Tableau 4.1 : Niveaux de représentation des connaissances

Étude de cas

Tableau des fonctions du système, des sous-systèmes et des composants

Tableau des fonctions des liens :

Liste des abréviations :

AIAG	: Automotive Industry Action Group
AMDEC	: Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
APTE	: APplication aux Techniques d' Entreprise : méthode universelle pour la conduite d'un projet
Chrysler	: Créateur américain d'automobiles
DELTALOG	: Société de conseil et d'ingénierie des systèmes d'information
DFSR	: Design For Safety and Reliability
F.A.S.T	: Function Analysis System Technic
FMEA-Sage	: Failure Modes and Effect Analysis System Analysis and Graphical Editor (Système d'aide à la modélisation et à la génération d'AMDEC)
GEHC	: General Electric Healthcare
ISO	: International Standardization Organization
MTBF	: Mean Time Between Failure
MTTR	: Mean Time To Repair
OWL	: Web Ontology Language
QS 9000	: Quality System Requirements
RDF	: Resource Description Framework
S.A.D.T.	: Structured Analysis and Design Technic
TAX	: Projet interne de DELTALOG qui s'insère dans un projet plus global FMEA-Sage
WIFA	: Acronyme allemand de « AMDEC basées sur une base de connaissances »
XML	: eXtensible Markup Language

Introductions

Introduction

La majorité des matériels que nous utilisons actuellement fonctionnent de manière très satisfaisante. A tel point que notre vie privée est généralement organisée à partir du principe (voire du postulat) selon lequel le radioréveil, la voiture, le train, l'ordinateur, le distributeur de billets... fonctionneront convenablement lorsque nous en aurons besoin ou lorsque nous les solliciterons.

Le haut niveau de service de ces équipements nous amène à leur accorder une confiance quasi-totale, et, de ce fait, nous ne nous interrogeons peut-être pas suffisamment sur les conséquences de leurs éventuels dysfonctionnements.

Ces dysfonctionnements sont tellement peu envisagés que, lorsqu'ils surviennent, on constate parfois qu'il n'existe pas ou plus de solution palliative ou alternative.

Les situations résultant de ces défaillances peuvent alors s'avérer, selon les cas, simplement gênantes, dommageables ou critiques.

Il apparaît donc nécessaire de prévoir (ou au moins d'envisager) ces situations le plus en amont possible, afin de les intégrer lors de la conception, sans attendre d'y être confronté.

Pour cela, on peut alors concevoir une démarche qui permettrait :

- de rechercher les défaillances ou les dysfonctionnements potentiels susceptibles d'affecter un équipement, un dispositif, une machine un procédé, un service ou une organisation ;
- d'analyser les conséquences de ces défaillances, d'identifier les situations qui en résulteraient ;
- d'évaluer le niveau de gravité, de criticité ou d'acceptabilité de ces situations ;
- de savoir comment et sur quoi agir, quelles mesures envisager, dans le cas où ces situations apparaissent comme inacceptables.

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité « AMDEC » est une méthode qui permet de répondre à ces attentes.

Bien que simple, la méthode s'accompagne d'une lourdeur certaine et la réalisation exige un travail souvent important et fastidieux.

Malgré les efforts majeurs consacrés à cette méthode, l'état d'avancement des travaux reste cependant pauvre. Cependant la conduite d'une AMDEC présente certaines anomalies ; la description des systèmes et leurs fonctions reste toujours incomplète, les informations d'une AMDEC sont difficilement réutilisables, l'apparition d'une fonction d'un composant comme une défaillance dans le même composant ou l'un des autres composants, en d'autres termes il existe un problème de cohérence dans le modèle.

Ces problèmes mentionnés viennent de quelques manques, dont souffrent les AMDECs. Premièrement, l'absence d'une méthodologie de conduite d'AMDECs ; la méthode est utilisée différemment d'une entreprise à une autre et même d'un département à un autre d'une même compagnie. Deuxièmement, toutes les données et informations relatives à une AMDEC sont enregistrées sous une forme naturelle (langage naturel), ceci est dû au fait que chaque équipe (personne) utilise son propre vocabulaire.

Le travail que nous allons présenter dans ce rapport met en avant une approche de conduite d'étude AMDEC pour assurer la cohérence de l'AMDEC d'une part, permettre la

mise à jour de l'AMDEC d'autre part; et un processus de contrôle pour le vocabulaire. Ce travail rentre dans le cadre du projet interne de **DELTALOG**² nommé **TAX**, qui consiste en « conception d'un composant logiciel d'aide à la définition d'une taxonomie relative aux AMDECs », s'insérant dans un projet plus global **FMEA-Sage**³.

A cet effet, le rapport est organisé en chapitres dont nous allons donner une brève description ci-dessous.

Dans le premier chapitre, nous allons donner les notions préliminaires sur l'AMDEC à travers ses concepts et sa définition, une fois ces connaissances acquises nous exposerons la démarche à suivre pour la mise en œuvre de la méthode AMDEC qui fera l'objet du deuxième chapitre. Une présentation de l'outil sera donnée dans le troisième chapitre. Le quatrième chapitre consistera à une introduction des ontologies en générale et de taxonomie en particulier en mettant en valeur le cycle de vie d'une ontologie, et les différentes étapes pour la construction d'une ontologie qui nous permettra d'aborder notre approche de conduite d'AMDEC basée sur la taxonomie, le cinquième chapitre décrira cette approche. Nous finirons par une conclusion générale où nous ferons une synthèse générale de ce travail et présenterons des perspectives et des travaux futurs.

² Société de conseil et d'ingénierie des systèmes d'information

³ Système d'aide à la modélisation et à la génération d'AMDEC

Chapitre I

Concepts et définitions de l'AMDEC

Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons essayer de donner l'historique de l'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), ensuite nous donnerons sa définition, ses buts et ses caractéristiques essentielles. Après nous décrirons les différents types d'AMDEC, et nous terminerons par l'analyse fonctionnelle qui est une étape primordiale dans la démarche AMDEC.

1. Généralités

1.1. Historique

L'armée américaine a développé l'AMDEC : la référence Militaire MIL-P-1629, intitulé « Procédures pour l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités », est datée du 9 Novembre 1949. Cette méthode était employée comme une technique d'évaluation des défaillances afin de déterminer la fiabilité d'un équipement et d'un système. Les défaillances étaient classées selon leurs impacts sur le personnel et la réussite des missions pour la sécurité de l'équipement. [Web 1]

En 1988, l'ISO⁴ émettait les normes de la série ISO 9000. Un groupe de travail représentant entre autre Chrysler⁵ a développé le QS 9000⁶ pour standardiser les systèmes qualité des fournisseurs. Conformément au QS 9000, les fournisseurs automobiles doivent utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC. La planification qualité du procédé est une méthode structurée pour définir et établir les étapes nécessaires à assurer qu'un produit satisfait aux exigences du client. [Web 1]

1.2. Définition

L'AMDEC est une méthode qui permet l'analyse systématique des dysfonctionnements potentiels d'un système considéré, l'estimation des risques liés à l'apparition de ses défaillances par l'évaluation de leur criticité pour la préparation des plans d'actions pour réduire, voir éliminer les mécanismes de défaillance.

Telle son appellation, cette méthode s'articule autour des points suivants :

- Rechercher les défaillances ou les dysfonctionnements potentiels susceptibles d'affecter le système ; ce sont les **modes de défaillances**, en répondant à la question :
Qu'est ce qui pourrait aller mal ?
- Analyser les conséquences de ces défaillances, identifier les situations qui en résulteraient ; ce sont les **effets potentiels**, en répondant à la question :
Quels pourraient être les effets ?
- Evaluer le niveau de **gravité de ces effets**, en répondant à la question :
Quelle est la gravité relative des effets ?
- Recenser les **causes possibles** de ces dysfonctionnements, en répondant à la question :
Quelles pourraient être les causes ?
- Evaluer l'**occurrence** ou l'**apparition** des défaillances, en répondant à la question :

⁴ International Standardization Organization

⁵ Créateur américain d'automobiles (http://www.chrysler.com/home_flash.html)

⁶ Quality System Requirements

Quelle est la probabilité relative d'apparition des couples mode / cause ?

- Recenser les **moyens de détections** possibles, en répondant à la question :

Comment faire pour détecter les mécanismes de défaillance ?

- Evaluer la **non détection**, en répondant à la question :

Quelle est l'efficacité relative des moyens de détection ?

- Evaluer l'indice de **criticité** des dysfonctionnements en **combinant gravité, apparition et non détection**. Cet indice permet de répondre à la question :

Quelle est la priorité des points listés ?

- Savoir comment et sur quoi agir, quelles **mesures** envisager dans le cas où ces situations apparaissent comme inacceptables et critiques.

Cette méthode offre un cadre de travail rigoureux en groupe pluridisciplinaire associant les compétences et expériences de l'ensemble des acteurs et crée une synergie autour d'une préoccupation commune : atteindre l'objectif fixé au préalable. Celui-ci dépend du système sur lequel on effectue l'étude et donc du type d'AMDEC appliquée d'une part, et des attentes des demandeurs de l'étude d'autre part.

Il est à noter que l'AMDEC doit être mise à jour périodiquement pour prendre en compte les évolutions et réévaluer les risques potentiels de défaillances, dans une perspective d'amélioration en continue. [BEN 2006]

1.3. Dans quel but utiliser l'AMDEC ?

On ne réalise pas une étude AMDEC pour le plaisir de « faire de l'AMDEC » ou seulement pour faire travailler ensemble un groupe de personnes. Il faut être conscient que **l'AMDEC requiert des compétences et du temps**. Dans le cas de systèmes complexes, comportant de nombreux composants, elle peut même constituer un énorme travail.

Il convient donc de l'utiliser à bon escient, lorsque l'investissement (objectif, résultats attendus, mobilisation des personnes, coût) le justifie.

Parmi ce que l'on peut en attendre, citons de manière non exhaustive :

- procéder à un examen critique de la conception,
- identifier les défaillances simples qui pourraient avoir des effets ou des conséquences graves ou inacceptables,
- préciser, pour chaque mode de défaillance, les moyens de détection et les actions correctives à mettre en oeuvre,
- valider une conception ou identifier les points de conception devant faire l'objet de modifications ou d'améliorations,
- dans ce dernier cas, déterminer s'il est préférable de chercher à diminuer la probabilité d'apparition des modes de défaillance ou de chercher à diminuer la gravité des effets des défaillances,
- vérifier si la conception est conforme aux exigences de sûreté de fonctionnement du client (interne ou externe),
- identifier les éléments qui devront faire l'objet d'un programme de maintenance préventive,
- organiser la maintenance (niveaux de maintenance, pièces de rechange, documentation...),
- pour les produits, faire apparaître la nécessité de procéder à des essais,
- pour les procédés, faire apparaître la nécessité de mettre en place des contrôles,

- pour les machines, concevoir de telle sorte que la tâche des opérateurs soit facilitée en cas de défaillance et prévoir des possibilités de fonctionnement en mode dégradé,
- fournir aux responsables des choix techniques, des éléments d'aide à la décision sur le plan de la sûreté de fonctionnement,
- mieux connaître et comprendre le fonctionnement du matériel,
- etc. [Web 1]

1.4. Quand utiliser l'AMDEC ?

Même si l'AMDEC peut être riche pour les systèmes en exploitation, c'est cependant dès la phase de conception des systèmes qu'elle prendra toute sa valeur, en gardant à l'esprit que l'AMDEC n'est pas la conception, mais que **l'AMDEC se déroule parallèlement à la conception, afin de valider celle-ci ou d'en identifier les points critiques.**

Le processus de conception d'un produit, d'une machine ou d'un système peut comporter différents stades (analyse fonctionnelle, avant-projet, définition, etc.), où l'AMDEC pourra être utilisée à chacune de ces étapes. Il faut prendre le terme de conception au sens large. En particulier, l'AMDEC sera également très utile lorsqu'il s'agit, par exemple, d'une modernisation, d'une amélioration ou d'une transformation.

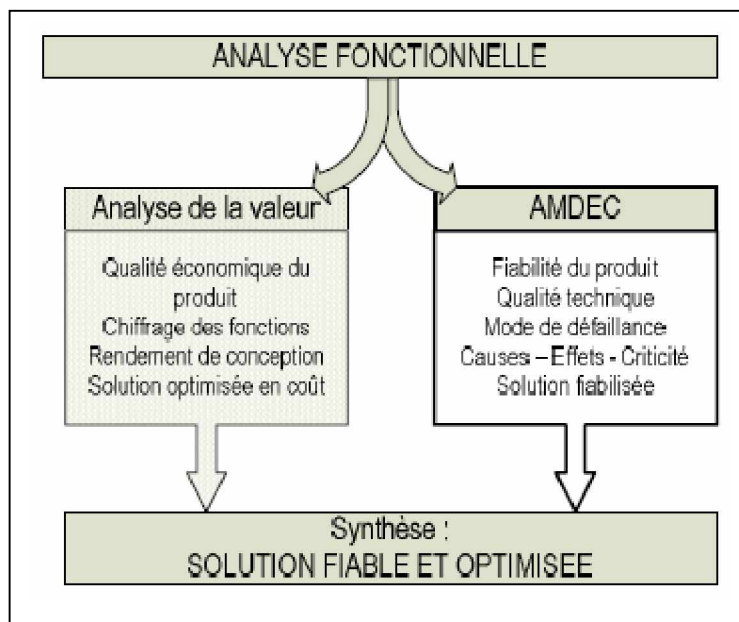


Figure 1.1 : Position de l'AMDEC dans le processus de conception [Web 1]

En ce qui concerne les systèmes existants, en phase d'utilisation ou d'exploitation, l'AMDEC peut également être très profitable. On retrouvera, bien sûr, les défaillances connues (celles qui ont affecté le système et ses composants et face auxquelles on a vraisemblablement déjà apporté des modifications ou des solutions), mais surtout elle permettra de découvrir les effets des défaillances potentielles (celles qui ne sont pas encore survenues) et que les utilisateurs ou exploitants ne soupçonnaient pas.

2. Caractéristiques essentielles de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode inverse de celle mise en oeuvre pour la conception, puisqu'elle est réalisée pour analyser comment un système conçu peut être amené à ne pas fonctionner et quelles seront les conséquences de ses dysfonctionnements sur tout l'environnement qui l'entoure. L'AMDEC est une **méthode d'analyse inductive rigoureuse** qui permet une recherche systématique :

- des modes de défaillances du système,
- des causes de défaillances générant les modes de défaillance,
- des conséquences de ces défaillances sur le système et son environnement,
- des moyens de détection pour la prévention et / ou la correction des défaillances. [Art 1]

La méthode est qualifiée d'inductive, car son point de départ est la recherche des événements élémentaires pour en déduire les conséquences finales. Par opposition, les méthodes déductives consistent à analyser la conséquence finale pour en rechercher les événements élémentaires.

L'AMDEC est une méthode de travail en groupe qui réunit les compétences et expériences dans les domaines des études, des méthodes, de la maintenance, de la fabrication et de la qualité. La création du groupe de travail permet l'apport « vivant » de la connaissance, de l'expérience et du bon sens. Elle permet également la réunion des personnes qui n'ont pas tendance à se rencontrer naturellement dans un esprit constructif. La constitution du groupe de travail est donc indispensable pour atteindre l'objectif tracé. [Art 1]

Notons qu'à la différence des approches probabilistes, l'AMDEC est une méthode fiabiliste pouvant ne pas faire appel à l'historique des dysfonctionnements et au calcul probabiliste. En effet, le déroulement de l'AMDEC est essentiellement basé sur l'expérience et les connaissances du groupe de travail. [BEN 2006]

3. Les différents types d'AMDEC [Web 1]

3.1. L'AMDEC produit

L'AMDEC peut être réalisé à différents stades de la conception du produit, en ne perdant pas de vue qu'elle sera d'autant plus efficace qu'elle interviendra plutôt dans le processus de conception.

Lorsque les plans détaillés sont terminés et que l'on a entamé la phase d'industrialisation, il est trop tard ! Une AMDEC réalisée à ce moment qui ferait apparaître des points critiques et donc la nécessité de procéder à des modifications, a fort peu de chances d'être suivie d'effet, sous peine de dérive des délais et des coûts, et le nouveau produit risque de ne pas totalement satisfaire l'utilisateur ou de client.

3.1.1. Au stade de l'analyse fonctionnelle

L'AMDEC produit devrait être réalisée au stade de l'analyse fonctionnelle ou du cahier des charges fonctionnel.

À ce stade, vous pourrez rencontrer les expressions « **AMDEC conception** » ou « **AMDEC fonctionnelle** ».

L' « AMDEC produit » analyse alors :

- comment les différentes fonctions attendues du produit pourraient ne pas être satisfaites,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'utilisateur du produit.

Son objectif est :

- identifier, assez tôt, les éventuels points critiques du produit,
- apporter les modifications nécessaires pour l'améliorer,
- prévoir le plan de validation du produit (essais, tests...).

3.1.2. Au stade de la définition du produit

Sous cette même appellation d'AMDEC produit, on désigne aussi une analyse réalisée plus tard, lorsque les solutions techniques sont choisies. On emploie aussi les expressions « **AMDEC composants** » ou « **AMDEC matériel** ».

On situe généralement l'étude dans la phase « utilisation du produit » et l'AMDEC produit analyse alors :

- comment les fonctions attendues des différents composants du produit pourraient ne pas être satisfaites,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'utilisateur du produit.

Son objectif est, comme précédemment :

- identifier les éventuels points critiques du produit,
- apporter les modifications nécessaires ; mais on se situe ici au stade où la définition du produit est beaucoup plus avancée et l'AMDEC permettra de valider ou d'affiner les choix qui ont été faits pour les solutions techniques.

3.2. L'AMDEC process ou procédé

On se situe après que les choix techniques du produit soient faits. On sait donc comment et de quoi sera constitué le produit et on peut alors envisager de définir le procédé de fabrication (succession des différentes opérations nécessaires à l'élaboration du produit). On a défini les opérations nécessaires et leur enchaînement (gamme de fabrication), mais on n'a pas encore conçu ou choisi les machines et outillages nécessaires pour réaliser ces opérations (il existe souvent plusieurs solutions possibles).

L' « AMDEC procédé » analyse alors :

- comment le procédé pourrait générer des produits non conformes aux spécifications,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'utilisateur du produit,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'environnement de production.

Son objectif est :

- identifier, assez tôt, les éventuels points critiques du procédé,
- apporter les modifications nécessaires pour l'améliorer,
- prévoir le plan de contrôle ou de surveillance,
- proposer éventuellement des modifications de conception du produit.

3.3. L'AMDEC machine

On emploie aussi les expressions « AMDEC moyen » ou « AMDEC moyen de production ».

Dans l'AMDEC procédé, nous avons analysé les différentes opérations prévues par la gamme de fabrication, indépendamment des machines qui les réaliseront. Nous analysons maintenant les machines réalisant ces différentes opérations (le terme machine doit s'entendre au sens large ; il peut s'agir également d'installations de production pour des process continus,...).

Comme pour un produit, il est possible de réaliser l'AMDEC machine à différents stades de sa conception (analyse fonctionnelle ou cahier des charges fonctionnels, avant-projet, définition technique) et, là encore, il sera toujours préférable d'envisager des modifications avant d'avoir atteint le stade des plans de détail.

3.3.1. Au stade de l'analyse des fonctions ou des séquences

On se situe à « un niveau en dessous » par rapport à l'AMDEC procédé.

L'« AMDEC machine » analyse alors :

- comment les différentes fonctions attendues de la machine pourraient ne pas être satisfaites,
- comment cela pourrait générer des produits non conformes aux spécifications,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'utilisateur du produit,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'environnement de production.

Son objectif est :

- identifier, assez tôt, les éventuels points critiques de la machine,
- apporter les modifications nécessaires pour l'améliorer,
- prévoir le plan de validation de la machine (essais, tests, réalisation d'un pilote...) et/ou le plan de maintenance.

3.3.2. Au stade de la définition de la machine

On se situe ici au stade de la définition détaillée d'une machine ou d'une installation de production. Analyser tous les composants représenterait un énorme travail et n'est généralement pas nécessaire. On réservera donc cette AMDEC détaillée à certains sous-ensembles qui auront été identifiés par ailleurs comme sensibles ou critiques.

On situera l'AMDEC dans la phase « utilisation de la machine » et elle analyse alors :

- comment les fonctions attendues des différents composants de la machine pourraient ne pas être satisfaites,
- comment cela pourrait générer des produits non conformes aux spécifications,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'utilisateur du produit,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'environnement de production.

Son objectif est, comme précédemment :

- identifier les éventuels points critiques de la machine,
- apporter les modifications nécessaires ; mais on se situe ici à un stade où la définition de la machine est beaucoup plus avancée et l'AMDEC permettra de valider ou d'affiner les choix qui ont été faits pour les solutions techniques.

3.4. L'AMDEC service

Nous nous sommes précédemment intéressés à un produit matériel (répondant aux besoins d'un utilisateur ou d'un client) et au procédé permettant de fabriquer ce produit.

Pour le service, l'approche est similaire :

- un service est considéré comme un produit immatériel répondant aux besoins d'un bénéficiaire ou d'un client,
- la prestation du service (l'activité nécessaire pour fournir ce service) peut être assimilée à un procédé.

L'AMDEC « service » analyse alors :

- comment les différentes fonctions attendues du service pourraient ne pas être satisfaites,
- quelles pourraient en être les conséquences pour le bénéficiaire ou le client.

et l'AMDEC « prestation du service » analyse :

- comment la prestation du service pourrait générer un service non conforme aux attentes du bénéficiaire ou du client,
- quelles pourraient en être les conséquences pour le bénéficiaire ou le client,
- quelles pourraient en être les conséquences pour l'ensemble de la prestation.

4. Les compétences nécessaires pour réaliser une AMDEC

La démarche AMDEC nécessite beaucoup de rigueur. Il s'agit d'une démarche très complète : il faut avoir, tout à la fois, une approche analytique lorsque l'on s'intéresse aux composants et une vision globale pour identifier les effets des défaillances sur le système et son environnement.

L'AMDEC impose aussi de se poser les bonnes questions (quelle est la fonction de ce composant, de ce système ? Que se passe-t-il en cas de défaillance ? Existe-t-il des dispositifs de secours ?...) et, bien sûr, d'apporter les bonnes réponses. Pour cela, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance ou d'acquérir la connaissance du système, de son fonctionnement et de son environnement.

Nous avons également mis en évidence le caractère systématique de la démarche (on ne peut pas se contenter de survoler, on ne doit pas faire d'impasses). Poser toujours les mêmes questions (qu'est-ce qui peut arriver, quelles sont les causes ? Quelles sont les conséquences ?...) des centaines de fois et rechercher les réponses peut devenir fastidieux ; il ne faut pas céder à la facilité en shuntant quelques composants ou quelques phases de vie ou simplement quelques questions.

Si une personne réunit à elle seule, ces conditions, alors elle est en mesure de réaliser une AMDEC, même si, pour certains points particuliers, elle devra rechercher l'information

auprès d'autres personnes connaissant plus particulièrement telle ou telle partie du système ou de son environnement.

Mais aujourd'hui, la complexité des systèmes rend de plus en plus rares les cas où une seule personne peut en avoir une connaissance suffisante pour réaliser l'AMDEC, ce qui amène fréquemment à constituer des groupes de travail. [FAU 2004]

5. Le groupe AMDEC

Parmi les affirmations entendues à propos de l'AMDEC, certaines la présentent comme une méthode d'animation de groupe, voire de management.

Le travail en groupe n'est pas une obligation ni un objectif de l'AMDEC et, compte tenu des remarques du paragraphe précédent, il nous paraîtrait plus convenable de reformuler ainsi ces affirmations :

Constituer un groupe de travail pluridisciplinaire est un moyen de réunir les connaissances et les compétences nécessaires pour réaliser convenablement l'AMDEC de certains systèmes.

Au-delà du seul apport des connaissances, le travail en groupe aura généralement comme conséquences le partage d'informations, une meilleure cohésion interne et une amélioration de la communication externe si des clients, des fournisseurs, des sous-traitants sont associés aux travaux du groupe.

Ces retombées positives pour les membres du groupe et pour l'entreprise ne doivent cependant pas faire perdre de vue l'objectif de l'AMDEC qui est, rappelons-le, d'analyser les modes de défaillance. [FAU 2004]

Ce groupe, est composé de 4 à 8 personnes issus de divers services de l'entreprise [Web 5]:

- service production,
- service maintenance,
- service qualité,
- service méthodes,
- ...

Ces personnes ont toutes un rapport avec l'objet de l'analyse (machine, procédé) et en ont une expérience significative qui leur permet d'argumenter au cours des réunions.

De plus, l'une des personnes du groupe occupe la fonction d'animateur. Elle a pour rôle de conduire et d'orienter les débats, de veiller au respect des limites du sujet, de désigner la personne qui doit trancher en cas de litige, de rédiger l'AMDEC et de planifier les réunions.

Cette personne ne connaît pas forcément l'objet de l'analyse et il est même préférable qu'elle ne le connaisse pas pour introduire une certaine objectivité dans le déroulement et elle est souvent extérieure à l'entreprise (consultant). [Web 5]

6. L'organisation matérielle

L'organisation matérielle est importante pour le groupe AMDEC mis en place. Compte tenu de la quantité de travail que peuvent représenter certaines études AMDEC, on sera très souvent amené à fractionner l'étude en plusieurs séances.

Pour fixer la durée de ces réunions, vous devrez trouver le meilleur compromis entre le souhait de terminer au plus tôt votre étude et la difficulté à mobiliser une attention soutenue des participants pendant plusieurs heures. [FAU 2004]

Il faudra aussi organiser la transcription du travail du groupe. Il est nécessaire que ce travail s'élabore « sous les yeux » de tous les participants ; on privilégiera donc un support de grandes dimensions. En outre, on cherchera à gagner du temps sur les opérations de mise en forme, à réduire ou à éviter les opérations de recopie. [FAU 2004]

7. Analyse Fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle fournit une méthode à la fois technique et pédagogique qui s'inscrit dans une démarche rationnelle de construction des savoirs et des savoirs faire, et apporte des repères suffisants pour permettre d'analyser, choisir et utiliser un équipement, quelque qu'il soit et quelque soit les évolutions technologiques prévisibles ou non.

L'analyse fonctionnelle est indispensable à la maîtrise des risques en tant qu'étape fondamentale de l'analyse des modes de défaillance (prévention des risques techniques) et de l'analyse de la valeur (prévention des risques financiers). Elle fonde ainsi, par exemple, l'analyse de la valeur, l'analyse du risque, la Méthode APTE⁷ d'analyse fonctionnelle et analyse de la valeur, etc. [Web 4]

7.1. Principe de l'analyse fonctionnelle

7.1.1. Notion de système

Un système peut être défini de plusieurs façons :

- ensemble d'éléments en interaction dynamique** organisés en fonction d'un **but** (la plus générale).
- outil de modélisation permettant de représenter et d'analyser des complexes d'éléments (matériels, abstrait ou conceptuels) caractérisés par leur nombre et un réseau de relations imbriquées.
- ensemble fini, borné, caractérisé par des relations le reliant à son environnement et aux autres systèmes.

A chaque instant, un système est caractérisé par un état (ensemble des valeurs prises à une époque par tous les éléments composant le système) :

- la variété d'un système est l'ensemble des états possibles d'un système.
- l'état d'un système se définit par rapport au temps.
- en théorie, la variété est indépendante du temps (cas des équipements) ; en pratique, la variété peut se modifier (si le système se transforme dynamiquement). [Web 4]

7.1.2. Notion de fonction

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et / ou valoriser les fonctions du produit (matériel, logiciel, processus, service...) attendues par l'utilisateur.

Une fonction est l'action d'un élément constitutif d'un système exprimée exclusivement en terme de finalité (par ce qu'il « fait »). Chaque fonction doit être exprimée formulée par un **verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments**.

⁷ APplication aux Techniques d' Entreprise : méthode universelle pour la conduite d'un projet

- **Fonction de service** (ou **fonction principale**) : fonctions attendues d'un produit pour répondre à un besoin ou un élément du besoin (matériel, physiologique, psychologique, socioculturel) de l'utilisateur. Elle peut être :

- une **fonction d'usage** (*service rendu*)
- une **fonction d'estime** (*conditions du service rendu*).

- **Fonction contrainte** : d'après la norme AFNOR X50-151 : «La contrainte c'est la limitation à la liberté de choix du concepteur réalisateur d'un produit.» Il s'agit de recenser les conditions qui doivent être impérativement vérifiées par le produit, mais qui ne sont pas sa raison d'être.

- **Fonction technique** : fonction interne au produit nécessaire aux solutions retenues pour assurer les fonctions de service.

- **fonction technique principale ou élémentaire**: permet de remplir une fonction d'usage, de rendre un service attendu.
- **fonction technique complémentaire ou secondaire** : permet de remplir une fonction d'estime (sécurité, ergonomie, confort, environnement, législation ...). [Web 4]

7.1.3. Liens inter fonctionnels

La fonction entretient des relations internes et externes au système, appelées données (on parle de flux de donnée).

- La donnée qui traverse la fonction est appelée la matière d'oeuvre (M.O.).
- Toute fonction confère une valeur ajoutée (V.A.) à la matière d'oeuvre.
- Il existe en général une matière d'oeuvre dominante (ce pour quoi le système est conçu), il peut exister des matières d'oeuvre secondaires.
- Les autres données sont des données de contrôle de la fonction, elles permettent la réalisation de la fonction.
- Selon les systèmes étudiés, les données peuvent être de nature très diverse : matières, énergies, informations ... etc.
- L'élément qui réalise une fonction est désigné sous le terme générique de **processeur**. [Web 4]

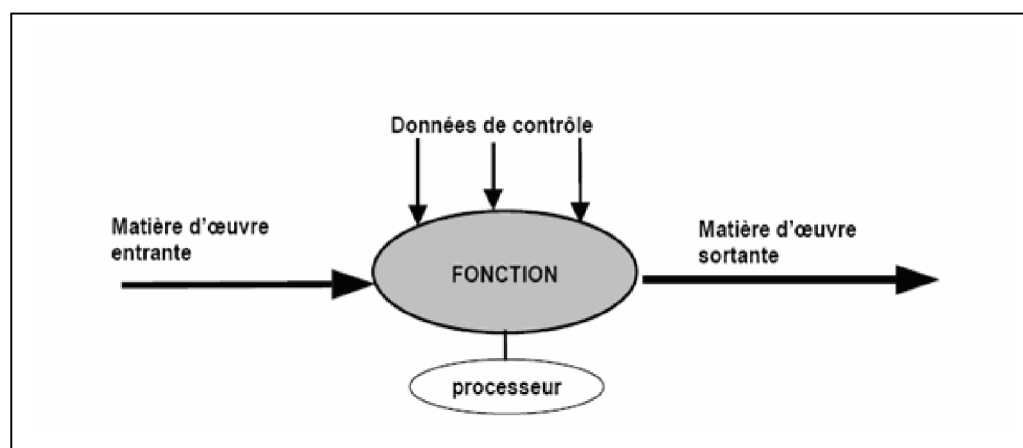


Figure 1.2 : Liens inter fonctionnels [Web 4]

7.1.4. Réalisation de l'étude fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle du besoin ou analyse fonctionnelle externe met en évidence chacune des fonctions de service (ou fonctions principales) qu'elles soient *d'usage* ou *d'estime* (*Pourquoi l'objet a-t-il été créé ?*) ainsi que chacune des fonctions contraintes (*Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ?*). Elle permet d'obtenir les données nécessaires à la conception du système, et c'est un outil de dialogue avec l'utilisateur. L'analyse fonctionnelle du produit ou analyse fonctionnelle interne dégage chaque fonction technique principale et complémentaire et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques.

Elle caractérise le fonctionnement interne de l'objet ou système technique et consiste à :

- définir le système, sa fonction globale, sa frontière, les entrées sorties de matières d'oeuvre avec l'environnement.
- rechercher les fonctions techniques, les décomposer en sous – fonctions.
- établir et caractériser les liens entre éléments de l'objet ou système technique étudié.

L'outil de description peut :

- privilégier l'analyse descendante, la *modélisation*, l'écriture *des liens inter - fonctionnels* et permettre la description de système complexe pour comprendre et communiquer, réaliser plan, schéma des automatismes, algorithmes de programmation (S.A.D.T.⁸) ;
- privilégier, *de la fonction aux solutions techniques*, le travail de recherche, de décomposition, d'ordonnement, de valorisation pour comprendre et optimiser (F.A.S.T.⁹). [Web 4]

7.2. Méthodologie [Web 2]

L'analyse fonctionnelle s'effectue en plusieurs étapes :

a. Déterminer le profil de vie du système

Il convient dans un premier temps de rechercher l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit.

Les activités qui suivent vont être réalisées pour chacune des phases du cycle de vie du produit au sein du groupe de travail qui a été mis en place.

b. Recenser les fonctions

La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations du futur produit ou système avec son environnement. Elle s'effectue selon une méthodologie axée sur le recensement exhaustif des fonctions : ne pas en oublier, ne pas inventer de faux services.

Chaque fonction devra être exprimée exclusivement en terme de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

Il faut distinguer les fonctions de service des fonctions techniques.

⁸ Structured Analysis and Design Technic

⁹ Function Analysis System Technic

c. Ordonner les fonctions

Les fonctions identifiées précédemment ont été notées sans respecter un ordre particulier. Il est important d'établir une décomposition logique entre ces diverses fonctions.

Le groupe de travail créera ainsi le diagramme fonctionnel qui ordonne les fonctions identifiées, vérifie la logique fonctionnelle, contrôle l'exhaustivité du recensement des fonctions et sert de support à la recherche de nouvelles fonctions.

Les débats suscités au sein du groupe de travail pendant la construction du diagramme fonctionnel, et surtout pour obtenir un consensus, permettent de clarifier la situation et augmentent l'efficacité du groupe.

d. Caractériser et quantifier les fonctions

Une fois les fonctions identifiées, il faut définir les critères qui nous permettront d'effectuer le choix d'une solution technique : la caractérisation des fonctions.

Cela consiste à énoncer pour chaque fonction de service :

- Les critères d'appréciation
Caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.
- Les niveaux de chaque critère
Grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif ou celle atteinte par une solution proposée. Le niveau quantifie le critère et représente ainsi la performance attendue du service à rendre.
- La flexibilité de chaque niveau
Ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation.
- Le taux d'échange associé
Rapport déclaré acceptable par le demandeur entre la variation du prix (ou du coût) et la variation correspondante du niveau d'un critère d'appréciation ou entre les variations de niveau de deux critères d'appréciation.
Il s'agit de se préparer à négocier une variation de performances par rapport au besoin initial. Pour chaque couple critère/niveaux de satisfaction, on fixera alors un taux d'échange.

e. Hiérarchiser les fonctions**Conclusion**

La méthode AMDEC vise l'identification et la prévention des dysfonctionnements d'un système. La base de départ de l'étude doit donc être l'identification des fonctions attendues du système, dans son fonctionnement nominal. La donnée d'entrée de base de l'AMDEC est l'analyse fonctionnelle du système qui définit l'ensemble des fonctions attendues et les caractérise sur l'ensemble de son cycle de vie.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les différentes étapes de la mise en œuvre de l'AMDEC qui sera basée sur les différents points vus dans ce chapitre.

Chapitre II

Mise en œuvre de l'AMDEC

Introduction

Avant de se lancer dans la réalisation proprement dite des AMDEC, il faut connaître précisément le système et son environnement. Ces informations sont généralement les résultats de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des risques et éventuellement du retour d'expériences.

Il faut également déterminer comment et à quel fin l'AMDEC sera exploitée et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées.

Dans un second temps, il faut évaluer les modes de défaillance, leurs causes ainsi que leurs effets. Dans un troisième temps, il convient de classer les effets des modes de défaillance par niveau de criticité, par rapport à certains critères de sûreté de fonctionnement préalablement définis au niveau du système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.).

Ensuite, les composants les plus critiques sont identifiés en vue d'entreprendre des actions correctives, préventives ou amélioratives pour y remédier. Enfin, la dernière étape consiste à faire une synthèse de l'analyse et le suivi des recommandations.

Tous ces points seront développés dans ce chapitre.

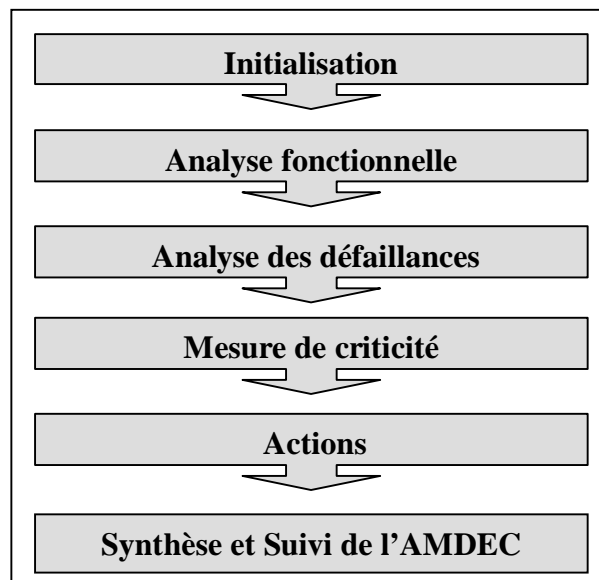


Figure 2.1 : Les 6 étapes de l'AMDEC

1. Etape 1 : Initialisation [Web 1]

A partir du constat d'un dysfonctionnement, de la demande d'un client interne ou externe, d'une ambition, il est important de se poser la question : Pourquoi ferions-nous cette étude ?

Cette étude d'opportunité est souvent réalisée conjointement avec le futur animateur et le demandeur. Son résultat doit conduire à la décision finale : mettons nous en oeuvre ou pas cette étude AMDEC ?

Une fois cette décision prise, il est indispensable de cadrer le projet. Cette démarche va permettre de définir les limites de l'étude, les résultats attendus et l'organisation générale du projet.

On entend par organisation, l'identification des ressources nécessaires pour mener à bien le projet.

Les ressources financières ou budgets ;

Les ressources matérielles ;

Les ressources humaines :

Le décideur : la personne responsable de l'entreprise ou du sujet étudié qui en dernier recours, et à défaut de consensus, exerce le choix définitif. Il est normalement le responsable et le décideur des coûts, de la qualité et des délais.

L'animateur : C'est le garant de la méthodologie, l'organisateur de la vie du groupe. Il précise l'ordre du jour des réunions, conduit les réunions, assure le suivi de l'étude.

Le groupe de travail : 4 à 8 personnes, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse.

Il sera important de planifier rapidement les dates des réunions pour l'équipe projet afin de résoudre le problème fréquent des disponibilités.

2. Etape 2 : Analyse fonctionnelle

L'analyse des dysfonctionnements du système revient à s'intéresser à la non réalisation ou la non-satisfaction des fonctions attendues de ce système.

Il est donc impératif de commencer par identifier et caractériser ces fonctions attendues, dans les différentes phases de vie du système ainsi que dans ses différents modes de fonctionnement possibles (manuel, automatique, dégradé...).

Une analyse fonctionnelle préalable à l'AMDEC est donc indispensable. Elle sera plus ou moins détaillée, plus ou moins formalisée ; mais on ne peut pas envisager une AMDEC convenable si on n'a pas défini à quels besoins doit répondre le produit, la machine, le système ou le processus.

L'analyse fonctionnelle¹⁰ a pour but d'identifier les différentes fonctions que devra assurer le produit ou le système et le cahier des charges fonctionnel exprimera la façon dont une fonction sera assurée ou une contrainte respectée. [Web 1]

3. Etape 3 : Analyse des défaillances

3.1. Modes de défaillance

Il s'agit d'identifier les modes de défaillances de l'élément en relation avec les fonctions à assurer. Un mode de défaillance correspond à la manière dont l'élément peut être amené à ne plus assurer sa fonction : c'est un dysfonctionnement conduisant à la non satisfaction partielle ou totale de la fonction. Il peut se propager d'un élément à un autre et également évoluer au cours du temps. A chaque fonction, on peut associer un ou plusieurs modes de défaillance ; ils sont exprimés en termes physiques.

Les modes des défaillances sont classés en cinq catégories [Web 1]:

- Défaillance complète ;
- Défaillance partielle ;
- Défaillance intermittente

¹⁰ Voir Chapitre I Section 7

- Défaillance dans le temps ;
- Performance supérieure à la fonction.

Le schéma suivant illustre ces différentes catégories de défaillances.

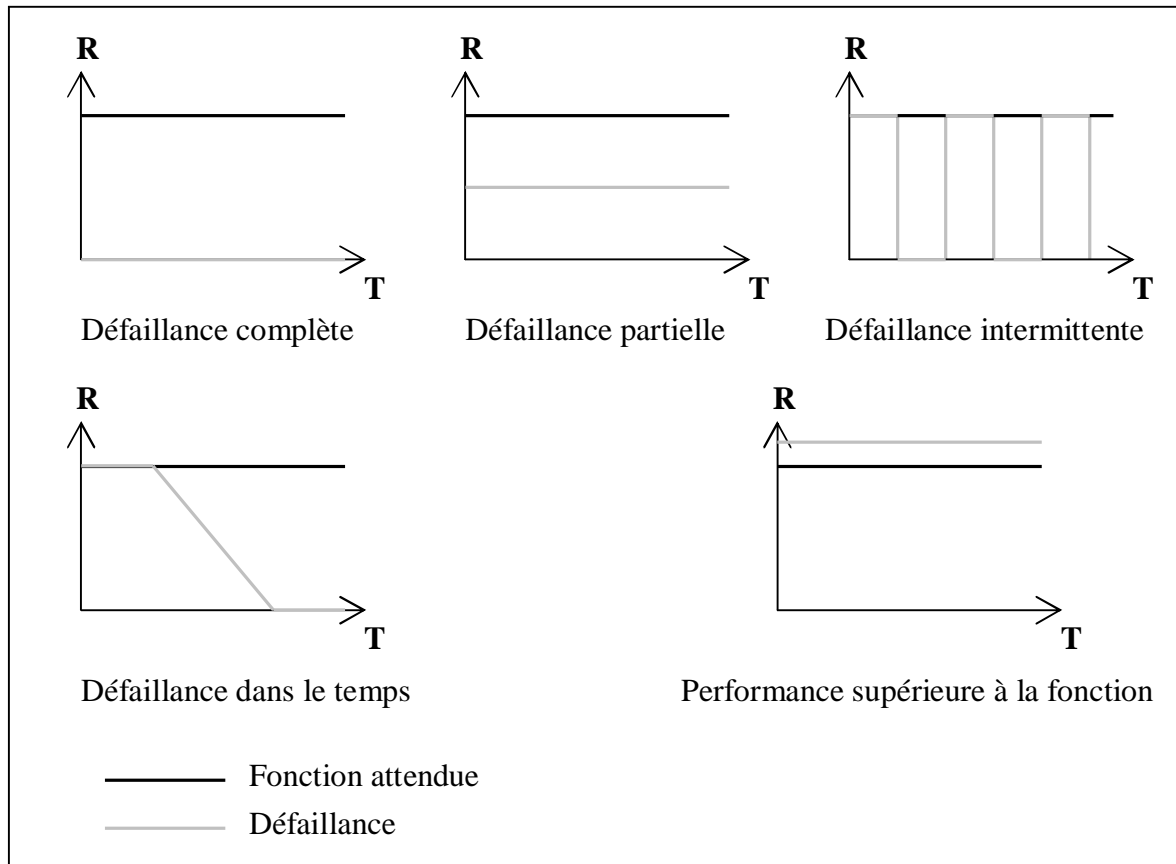


Figure 2.2 : Différentes catégories des défaillances. [Web 1]

Il est à noter que quand une fonction est supposée défaillante, les autres sont dans leur bon fonctionnement.

3.2 Causes des défaillances [Web 1]

Les causes sont des anomalies initiales susceptibles de conduire au mode de défaillance. Elles peuvent être propre au composant (cause interne) ou provenir d'interactions avec d'autres composants ou avec l'environnement du composant du système (cause externe). Si l'on cherche ultérieurement à éliminer ou réduire le risque d'apparition du mode de défaillance, il sera intéressant d'en avoir identifié les causes, pour savoir sur quoi agir.

Un mode de défaillance peut résulter de la combinaison de plusieurs causes. Une cause peut être à l'origine de plusieurs modes de défaillances. [Web 5]

Pour déterminer les causes, on peut utiliser différentes méthodes, par exemple le diagramme d'ISHIKAWA (méthode des 5M).

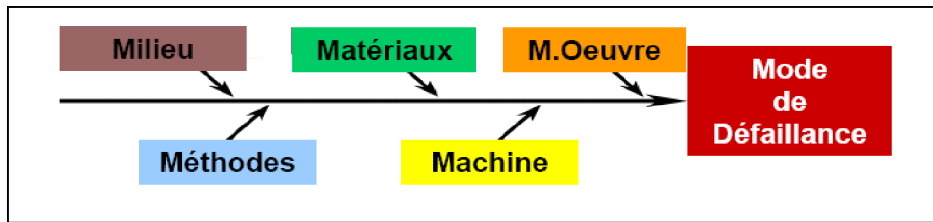


Figure 2.3 : Le diagramme d'ISHIKAWA. [Web 1]

Ces 5 grandes familles ou facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires. L'ensemble des causes identifiées par cet outil devra être hiérarchisées.

3.3. Effets des défaillances

Après que les fonctions et leurs modes des défaillances ont été établis ; l'étape suivante de l'AMDEC consiste à identifier les conséquences lorsqu'un mode de défaillance survient. Après que les conséquences ont été identifiées, elles sont considérées comme effets. Il est supposé que les effets apparaissent toujours après un mode de défaillance. [OUH 2005]

L'effet est relatif à un mode de défaillance et dépend du type d'AMDEC réalisé. [Web 1]

En général, on distingue trois types d'effets [OUH 2005]:

- **Effets locaux** sont les effets sur les composants du système qui assure la fonction défaillante ;
- **Effets sur les niveaux supérieurs** sont les effets sur les composants du système qui sont directement interfacés avec le composant défaillant ces effets sont aussi appelés Effets de zone ;
- **Effets globaux** sont les effets qui surviennent sur le système global et son environnement, ces derniers sont le résultat de la propagation des effets sur les niveaux supérieurs.

3.4. Méthode d'analyse

Il est important de garder à l'esprit la logique suivante : la cause engendre le mode de défaillance ; le mode de défaillance produit des effets.

On entre dans l'AMDEC par le mode de défaillance. A partir de ce mode, on cherche les causes de ce mode de défaillance (en amont) et les effets de ce même mode de défaillance (en aval). [Web 1]

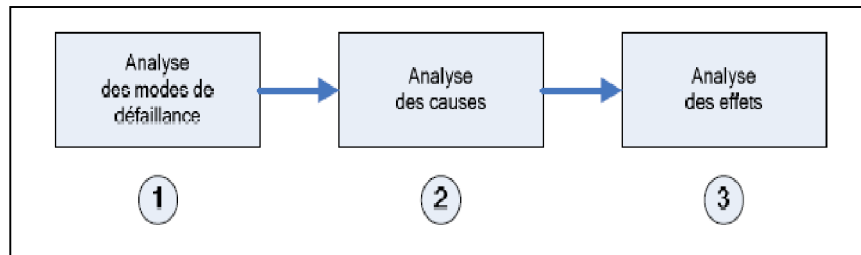


Figure 2.4 : Méthode d'analyse de l'AMDEC. [Web 1]

3.5. La grille d'AMDEC

La grille AMDEC permet de formaliser la réflexion.

Elément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection
...

- **La colonne « Elément »**

L'élément indique la partie du procédé (ou de la machine) qui est concerné.

- **La colonne « Fonction »**

La fonction est celle à laquelle cet élément participe.

Comme les modes de défaillance devraient être recherchés à partir des fonctions attendues des éléments. Pour faciliter et rendre plus précise cette recherche, on peut créer la colonne « **fonction** » dans laquelle on indiquera la ou les fonctions de l'élément.

On constatera que :

- la recherche des fonctions attendues des composants nous conduits à une analyse plus fine, plus précise,
- à certains composants correspondent plusieurs fonctions,
- à certaines fonctions correspondent plusieurs modes de défaillance.

- **La colonne « Causes »**

On y indique la ou les causes du mode de défaillance. Si l'on cherche ultérieurement à éliminer ou réduire le risque d'apparition du mode de défaillance, il serait, en effet, intéressant d'en avoir identifié les causes, pour savoir sur quoi agir.

- **Les colonnes « Effets »**

Tous les effets identifiés sont mentionnés dans une unique colonne effets. Il peut cependant apparaître judicieux de fractionner cette colonne en fonction de la nature des effets. Cette ventilation de l'unique colonne effets en plusieurs colonnes peut faciliter l'exploitation des résultats.

- **La colonne « Détection » ou « Moyens de détection »**

La détection explique comment on prend conscience du problème.

On y indique s'il est possible de détecter la défaillance lorsqu'elle est survenue, et quel sera le moyen de détection. [Web 1]

4. Etape 4 : Mesure de la criticité [BEN 2006], [FAU 2004], [LAN 2002], [RIO 1994], [Art 1], [Web 5]

Cette phase consiste à déterminer la criticité des défaillances de chaque élément. La criticité est une évaluation quantitative du risque de la défaillance constitué par le scénario : Mode / cause, effet et détection. Elle est évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs indépendants :

- la probabilité d'apparition du couple mode / cause,
- la gravité de l'effet,
- la possibilité d'utiliser les signes de détection.

A partir de ces trois facteurs, on détermine des critères de cotation. Pour chaque critère on attribue un niveau (une note ou un indice) grâce aux barèmes (grille) de cotation. Un niveau de criticité en est ensuite déduit, ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et d'identifier les points critiques. L'évaluation de la criticité se fonde sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude. Les critères de criticité s'expriment dans le tableau AMDEC par leurs niveaux respectifs.

La figure suivante illustre le principe d'évaluation de la criticité.

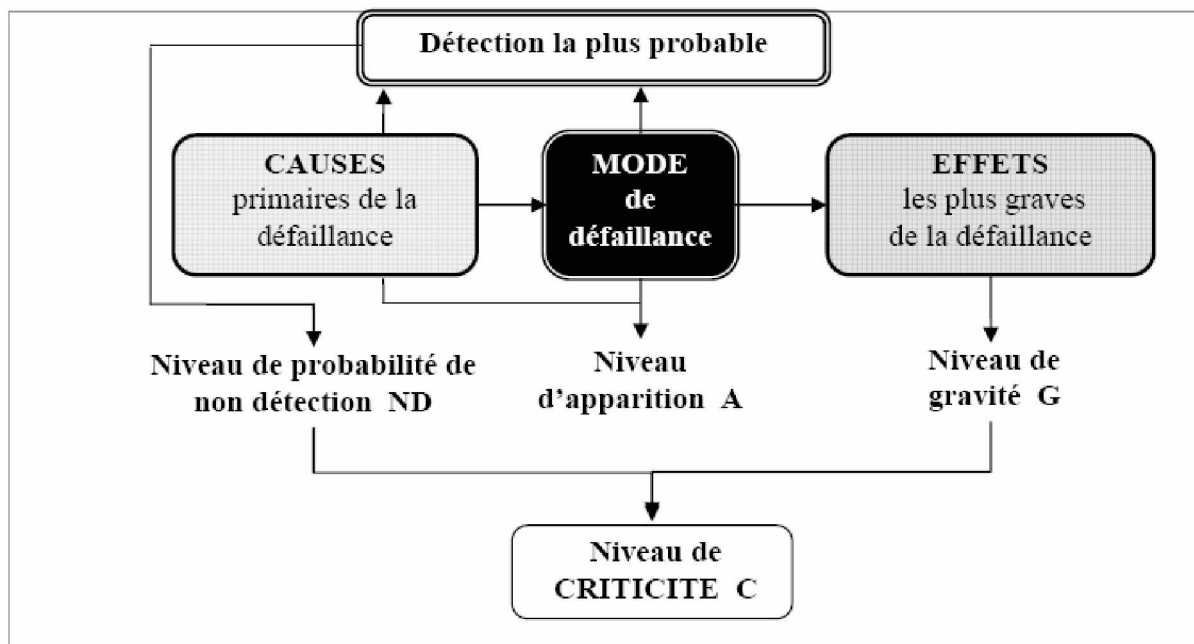


Figure 2.5 : Principe d'évaluation de la criticité. [RIO 1994]

4.1. Construction des barèmes (échelles) de cotation

Pour pouvoir juger une défaillance sur un critère, il est nécessaire de construire une échelle selon un repère : cela constitue un barème de cotation. Ainsi, à chaque critère de cotation, en l'occurrence :

- la probabilité d'apparition du couple mode / cause,
- la gravité de l'effet,
- la probabilité de non détection.

correspond un barème de cotation. Ce barème est une grille à différents niveaux ; le plus souvent à quatre, cinq ou dix selon les cas. La construction de ces barèmes s'appuie essentiellement sur l'objectif de l'étude, les connaissances des membres du groupe sur les dysfonctionnements et l'historique des pannes et les retours d'expérience.

Nous présentons à présent, à titre illustratif, trois barèmes de cotation correspondant respectivement aux critères : la probabilité d'apparition du couple mode / cause, la gravité de l'effet et la probabilité de non détection du mécanisme de défaillance :

Tableau 2.1 : Indice d'apparition A.

Valeur de A	Probabilité d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au plus un défaut sur la durée de vie de l'installation.
2	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
3	Défaillance occasionnellement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par trimestre).
4	Défaillance fréquemment apparue sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par mois) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance, et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.

L'indice d'apparition **A** est établi pour chaque association : composant, mode, cause. Ce barème doit être adapté au sujet traité, il doit permettre de couvrir les apparitions les moins fréquentes (selon l'exemple : note = 1) jusqu'aux apparitions les plus fréquentes (selon l'exemple : note = 4).

Tableau 2.2 : Indice de gravité.

Valeur de G	Gravité de la défaillance
1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel (exemple : temps d'arrêt machine \leq 10 min).
2	Défaillance moyenne : nécessitant une remise en état de courte durée (exemple : 10 min \leq temps d'arrêt machine \leq 30 min).
3	Défaillance majeure : nécessitant une intervention de longue durée (exemple : 30 min \leq temps d'arrêt machine \leq 90 min) ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen de production.
4	Défaillance catastrophique très critique nécessitant une grande intervention (exemple : temps d'arrêt machine $>$ 90 min) ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise) ou Dommages matériels importants (sécurité des biens).
5	Sécurité / Qualité : accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention ou Non-conformité du produit envoyé en clientèle.

L'effet de la défaillance s'exprime généralement en termes de durée d'arrêt, de non-conformité de pièces produites et de sécurité de l'opérateur. Ce barème doit être adapté au sujet traité, il doit permettre de couvrir les conséquences les moins graves (selon l'exemple : note = 1) jusqu'aux conséquences les plus graves (selon l'exemple : note = 5).

Tableau 2.3 : Indice de non détection.

Valeur de ND	Non détection de la défaillance
1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Il existe un signe avant-coureur ¹¹ de la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La détection est exploitable.
3	La cause et / ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La détection est faible.
4	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas sans détection.

4.2. Evaluation des critères de cotation

L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la criticité, à partir de l'évaluation des critères de cotation ; à savoir gravité, probabilité d'apparition et probabilité de non détection.

On estime le niveau atteint par ces critères pour chaque combinaison : cause – mode – effet, en utilisant les barèmes de cotation définis au préalable.

Voici les trois critères utilisés en AMDEC, dont les indices correspondant à leurs évaluations doivent figurer dans les colonnes du tableau de l'étude.

- Gravité :

C'est la gravité des conséquences des effets potentiels, ressentis par l'utilisateur de la machine, compte tenu des actions de réduction des effets mises en œuvre (ou envisagées) au moment de l'étude. La gravité est notée à l'aide du barème qu'on utilise et s'exprime sous différents aspects :

- Dégradation matérielle et fonctionnelle de la machine,
- Taux de disponibilité de la machine ou de la ligne (durée d'arrêt),
- Non-conformité du produit fabriqué,
- Coût de la maintenance,
- Sécurité des opérateurs,

¹¹ Bruit, vibrations, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel et autres signes

- Répercussion sur l'environnement.

En cas d'impossibilité d'évaluer la gravité, c'est la note maximum qui est attribuée, cependant il serait plus judicieux de lever le doute ultérieurement.

- Apparition :

C'est la probabilité que la cause potentielle de défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode de défaillance considéré. Ceci quelle que soit la gravité des conséquences et compte tenu des actions de prévention mises en oeuvre (ou envisagées) au moment de l'étude. L'apparition est notée selon le barème préétabli en fonction de l'objectif de l'étude, et est relative à la combinaison cause - mode.

En pratique l'apparition s'exprime par le nombre de défaillances de l'élément sur une période donnée. En cas de méconnaissance totale de l'apparition, c'est la note maximum qui est attribuée.

- Non détection :

C'est la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance (supposé apparu) avant qu'il n'atteigne l'utilisateur. Elle dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des actions de détection mises en oeuvre (ou envisagées) au moment de l'étude. La non détection est notée selon le barème utilisé.

En cas de méconnaissance totale de la non détection, c'est la note maximum qui est attribuée.

Une fois les niveaux des critères (note ou indice) de cotation évalués, on peut procéder au calcul de la criticité.

4.3. Calcul de la criticité

Le développé étant **Risk Priority Number (RPN)** en anglais et **Indice de Priorité de Risque (IPR)** en français, ou encore **Indice de Criticité** (on retrouve le **C** de l'AMDEC).

Il s'agit de calculer le niveau de criticité, pour chaque combinaison cause – mode – effet, à partir des niveaux atteints par les critères de cotation. La criticité représente l'indice de hiérarchisation résultant du produit des notes de gravité, d'apparition et de non détection. En effet, il permet de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré, et qui peut être contractuellement imposé. Dans ce cas les défaillances peuvent être classées en deux catégories par comparaison à ce seuil :

- **défaillance critique** pour lesquelles $C \geq$ seuil de criticité,
- **défaillance non critiques** pour lesquelles $C <$ seuil de criticité.

Souvent, on considère également comme critique une défaillance dont la gravité est importante (maximum), sauf si l'apparition et la non détection sont tout les deux égaux à 1.

$$C = G \times A \times ND$$

Pour permettre de visualiser les résultats, on peut utiliser des représentations graphiques, tel l'histogramme que nous présentons à titre illustratif :

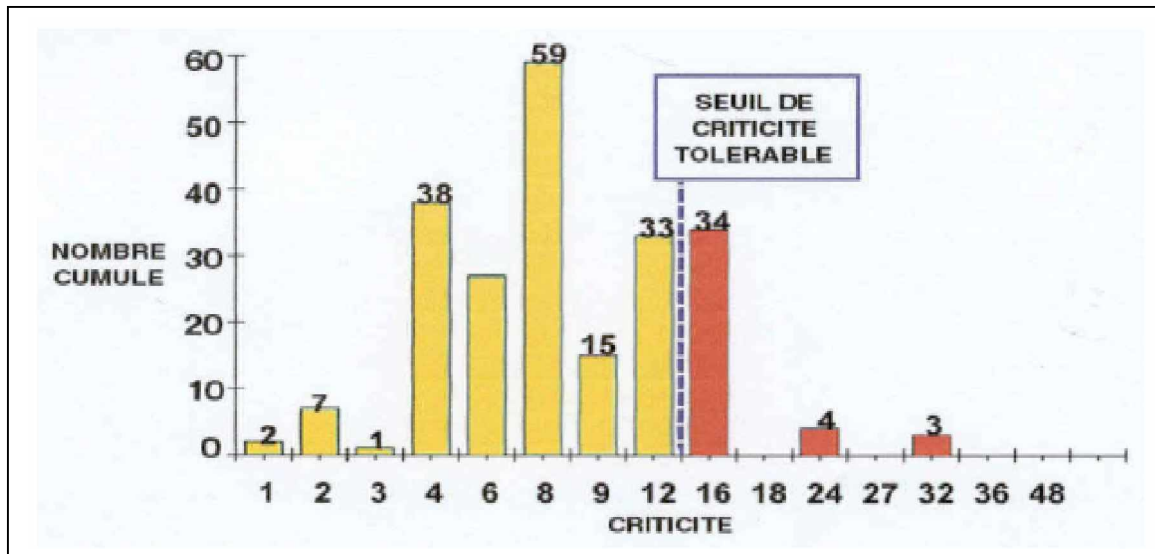


Figure 2.6 : Histogramme du nombre cumulé des causes de défaillance en fonction de la criticité. [Web 5]

4.4. La grille AMDEC

Après l'évaluation de la criticité, la grille AMDEC aura l'aspect :

Elément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité			
						G	A	ND	C
...

5. Etape 5: Actions [BEN 2006], [FAU 2004], [LAN 2002], [Art 1]

Cette étape consiste à proposer des actions ou mesures amélioratrices destinées à faire chuter la criticité des défaillances, en agissant sur un ou plusieurs des critères d'apparition, gravité et probabilité de non détection.

5.1. Recherche des actions correctives

Les actions correctives sont des moyens, dispositifs, procédures ou documents permettant la diminution de la valeur d'un ou de plusieurs niveaux : probabilité d'apparition, gravité, probabilité de non détection et par la suite la réduction de la criticité.

Plusieurs possibilités existent dans la recherche des actions selon les objectifs de l'étude :

- on ne s'intéresse qu'aux défaillances critiques,
- on s'intéresse à toutes les défaillances systématiquement,
- on oriente l'action à engager selon le niveau de criticité obtenu.

Aussi, nous pouvons observer trois types d'actions :

- Actions de prévention des défaillances :

Ce sont des actions pouvant être mises en œuvre pour éviter (ou limiter) l'apparition des causes ou modes de défaillance, ou supprimer les causes ou les modes existants. Elles permettent d'éviter que ces causes ou modes n'atteignent l'utilisateur. Elles ont pour objectif d'améliorer la fiabilité de la machine dès les phases de conception et fabrication ou en cours d'exploitation. Ces actions peuvent être orientées vers les conditions d'utilisation d'une part et la maintenance préventive systématique d'une autre part.

- Actions de détection préventive des défaillances :

Ce sont des actions pouvant être mises en œuvre pour détecter de manière précoce une anomalie (supposée apparue). Elles permettent de déclencher des actions de prévention et de faire chuter le niveau de probabilité de non détection : elles permettent une aide à la supervision par une maintenance préventive.

- Actions de réduction des effets :

Ces actions peuvent être mises en œuvre pour supprimer ou réduire les effets de la défaillance sur le système ou l'utilisateur. Elles permettent de faire chuter le niveau de gravité, en agissant souvent sur la maintenabilité ou sur l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement ; cela peut entraîner des modifications de conception.

Elles ont pour objectif de :

- interrompre le plus tôt possible l'enchaînement des effets au niveau de la machine,
- limiter les temps d'indisponibilité,
- réduire les non-conformités des produits,
- réduire les durées d'interventions et les coûts de maintenance corrective,
- réduire les impacts sur la sécurité ou l'environnement.

Voici, à titre illustratif, quelques actions pour diminuer la criticité :

- Des modifications ou améliorations de la conception de l'installation, qui permettront :
 - soit de rendre le moyen de production plus fiable (diminuer la fréquence d'apparition de l'aléa, augmenter la MTBF¹²),
 - soit de rendre le moyen de production plus maintenable (diminuer le temps d'immobilisation et donc le MTTR¹³ par la réduction des effets des défaillances, développer un système d'aide au diagnostic) ;
- Des dispositions organisationnelles concernant la maintenance ou la conduite de l'installation (exemple : définir la gamme de maintenance préventive, écrire les modes opératoires de réglage, gérer les stocks des pièces de rechange, former le personnel). Le choix du type d'action corrective à mettre en place doit être guidé par le critère le plus pénalisant

¹² Mean Time Between Failure

¹³ Mean Time To Restor

dans la note de criticité. Par exemple, si la criticité d'une défaillance est élevée du fait de la fréquence, l'action corrective doit viser à diminuer prioritairement la fréquence.

Quand une action corrective ne peut permettre de ramener l'indice de gravité au dessus de la note maximum, le groupe de travail devra définir une action visant à maintenir ou à ramener les deux autres critères (apparition et non détection) à une valeur égale à 1. De la même manière, quand aucune action corrective ne permet de ramener l'indice d'apparition au dessous de la note maximum, l'action corrective définie par le groupe de travail doit permettre de ramener ou de maintenir les deux autres critères (gravité et non détection) à une valeur égale à 1.

5.2. Calcul de la nouvelle criticité

Après proposition et analyse des mesures à engager, le groupe peut évaluer la nouvelle criticité pour juger de manière prévisionnelle de leur impact. En effet, la mise en place des actions correctives préconisées doit logiquement entraîner la réduction de la criticité de la défaillance étudiée. Le mécanisme de défaillance s'en trouve modifié, voir éliminé, par la mise en place des actions. Cependant, il convient de prendre garde au fait qu'une modification de la machine peut engendrer de nouveaux dysfonctionnements qu'il est nécessaire d'analyser. Le calcul de la nouvelle criticité est basé sur l'estimation des nouveaux indices d'apparition, de gravité et de non détection en utilisant les mêmes barèmes ayant servis à la cotation initiale.

Une fois les actions correctives identifiées et déterminées, le décideur validera la mise en application des actions correctives proposées par le groupe, en tenant compte des délais prévus, des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

5.3. La grille AMDEC

Après avoir tenu compte des actions correctives, préventives ou amélioratives, la grille AMDEC devient comme suit :

Elément	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité				Actions
						G	A	ND	C	
...

6. Etape 6 : Synthèses et Suivi de l'AMDEC [BEN 2006], [FAU 2004], [LAN 2002], [Art 1]

6.1. Synthèses

Cette phase consiste à effectuer une synthèse de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer. Elle est essentielle pour récapituler l'analyse. Les synthèses sont effectuées à partir des informations consignées dans le tableau AMDEC. Voici une démarche pratique pour effectuer cette synthèse.

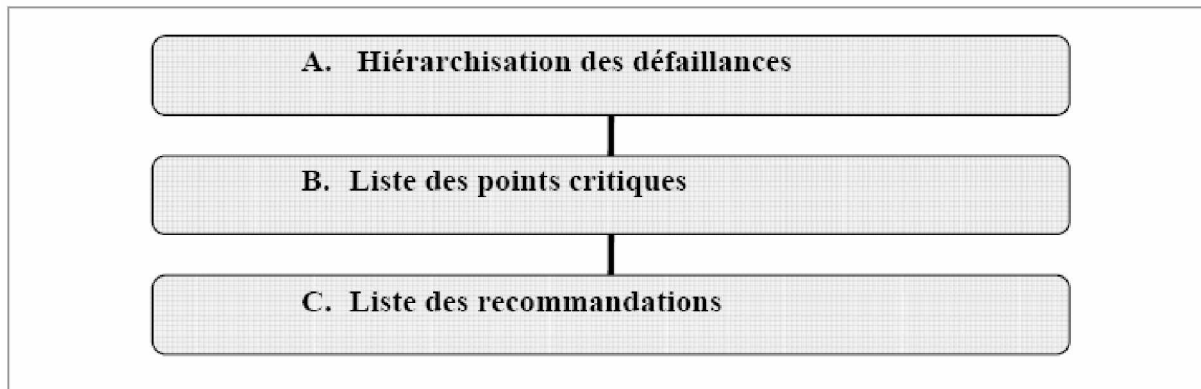


Figure 2.7 : Démarche pratique de synthèse. [RIO 1994]

A. Hiérarchisation des défaillances :

On peut classer les défaillances entre elles, selon leurs niveaux respectifs de probabilité d'apparition, gravité, probabilité de non détection ou encore selon leurs niveaux de criticité.

On peut établir divers classements :

- liste des pannes résumées (défaillances ayant les mêmes conséquences),
- liste des défaillances de cause commune,
- classement des défaillances, causes et effets par catégories,
- liste des symptômes ou anomalies observables par l'utilisateur.

B. Liste des points critiques :

Cette liste permet de recenser les éléments les plus critiques pour le bon fonctionnement du système.

C. Liste des recommandations :

Cette liste permet de recenser, voire de classer par ordre de priorité, les actions préconisées. Un plan d'action peut être établi avec des responsables désignés. On utilise souvent une grille d'aide à la décision dans laquelle on peut faire apparaître les critères de coût ou de difficulté de mise en place des actions à entreprendre.

6.2. Suivi

Le suivi est un aspect fondamental pour le succès de la mise en œuvre de l'AMDEC. Pour toutes les mesures décidées, des responsables ont été désignés et un plan d'action permet de définir les actions précises découlant des modifications envisagées. Le suivi va permettre de vérifier que toutes les actions décidées ont été réalisées et que les nouvelles valeurs de criticité sont effectivement atteintes. Nous pouvons proposer la démarche suivante pour effectuer un suivi de l'AMDEC :

1. Etablir un planning pour mener les actions,
2. Veiller à la bonne application des mesures préconisées,

3. Approvisionner les moyens et ressources nécessaires à la réalisation des actions correctives,
4. Prendre en compte les mises à jour des tableaux AMDEC, de la documentation, des gammes de maintenance préventives et des listes de pièces de rechange et autres.

Cette dernière étape est d'une importance capitale car elle permet à la méthode de s'inscrire dans la démarche de l'amélioration en continue : cette logique va reposer sur la répétition à opérer pour mener à bien l'AMDEC.

Conclusion

Même après plus de 20 ans d'applications des AMDECs dans les milieux industriels, ces dernières sont toujours connues de leur complexité à mettre en œuvre. Cela est dû à plusieurs facteurs dont les informations répétitives et volumineuses et surtout brèves présentes dans les AMDECs, ce qui les rend difficiles à produire, à comprendre et surtout difficiles à maintenir.

Cependant, différentes méthodes et techniques sont utilisées pour simplifier la mise en œuvre des AMDECs à savoir les techniques d'automatisation. Cette automatisation des AMDECs pour rendre leur mise en œuvre plus simple et plus rapide à réaliser, mais cela nécessite une connaissance du système et ses différents niveaux à analyser.

Ainsi, l'outil FMEA-Sage a été développé pour automatiser des AMDECs faites sur des systèmes quelques soient leur complexité. Une présentation de cet outil sera donnée dans le prochain chapitre.

Chapitre III

Présentation d'un outil (FMEA-Sage)

Introduction

L'outil développé a pour but d'automatiser des AMDECs faites sur des systèmes, quelques soient leur complexité. Ceci en guidant l'analyste depuis les premières phases de mise en œuvre de l'AMDEC, c'est-à-dire, depuis la phase d'analyse fonctionnelle. L'outil permet ainsi la modélisation des systèmes en blocks diagrammes fonctionnels. Ces derniers ont une structure interne décrivant tous les composants, leurs fonctions et leurs défaillances.

Il est à noter que les schémas blocks fonctionnels hiérarchiques sont supportés. Les composants sous-systèmes et systèmes peuvent ainsi être facilement modélisables. L'outil implémente un mécanisme de réutilisation qui est concrétisé par une bibliothèque de composants qui peut être mise à jour. Cette bibliothèque est soutenue par une base de connaissance. L'outil dispose aussi d'un vérificateur de données des AMDECs. Enfin, l'application permet la génération de fichiers Excel contenant le résultat de l'étude (l'AMDEC).

1. L'interface de l'outil

Nommé **FMEA-Sage** pour **Failure Modes and Effect Analysis System Analysis and Graphical Editor**, cet outil est le fruit d'un travail qui a duré deux années consécutives au sein de GEHC¹⁴, une initiative de **S. Babaci**, qui entre dans les projets DFSR¹⁵ chez GEHC.

La figure suivante présente une vue d'ensemble de l'outil

¹⁴ General Electric Healthcare

¹⁵ Design For Safety and Reliability

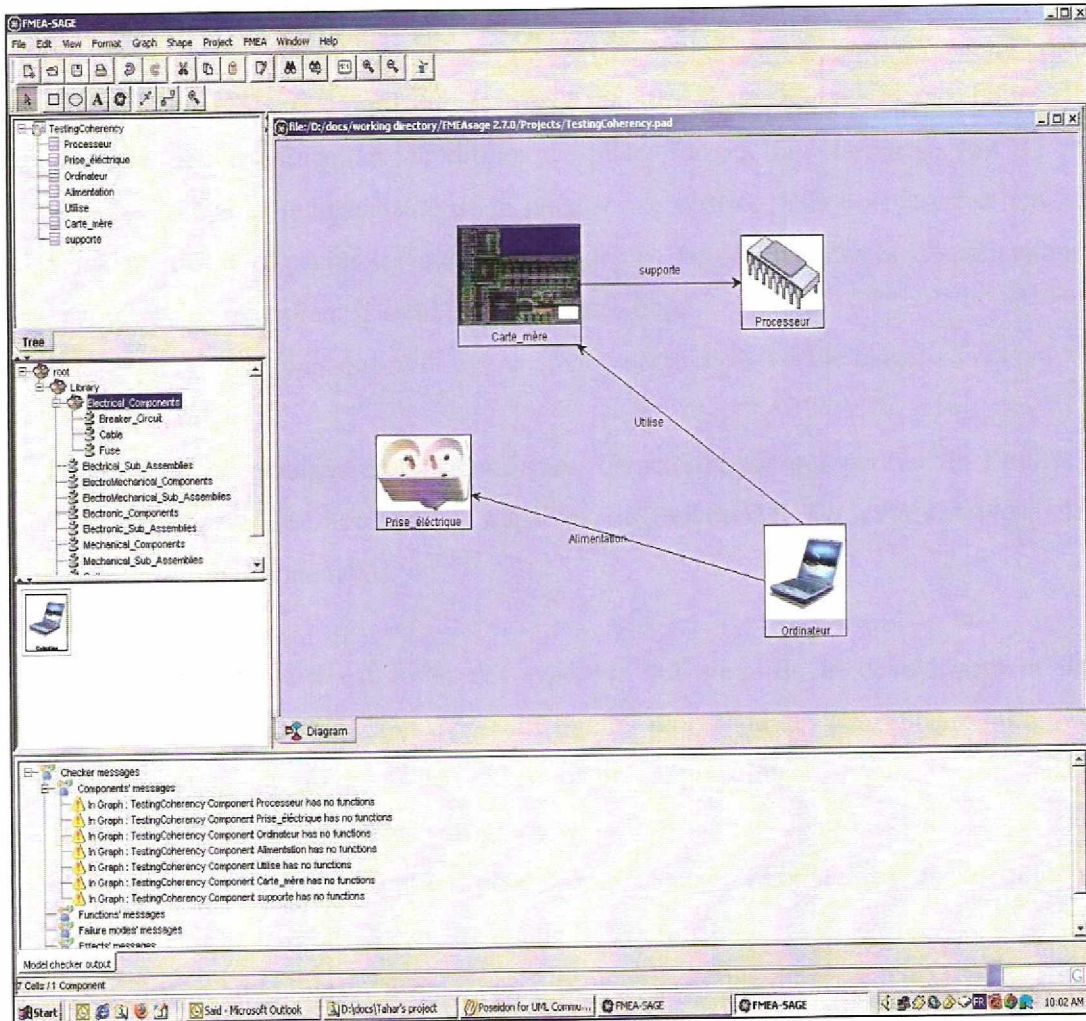


Figure 3.1 : Vue d'ensemble de l'outil FMEA-Sage

2. Schéma fonctionnel de l'outil

Le schéma est présenté sous trois couches empilées les unes sur les autres. Les unes produisent la matière première des autres. Les entrées du premier niveau sont le savoir et l'expertise de l'analyste conducteur de l'AMDEC. La sortie du dernier niveau est l'AMDEC prête à être exploitée. Le schéma suivant illustre les flux de données entre les niveaux intermédiaires ainsi que le premier niveau et le dernier niveau.

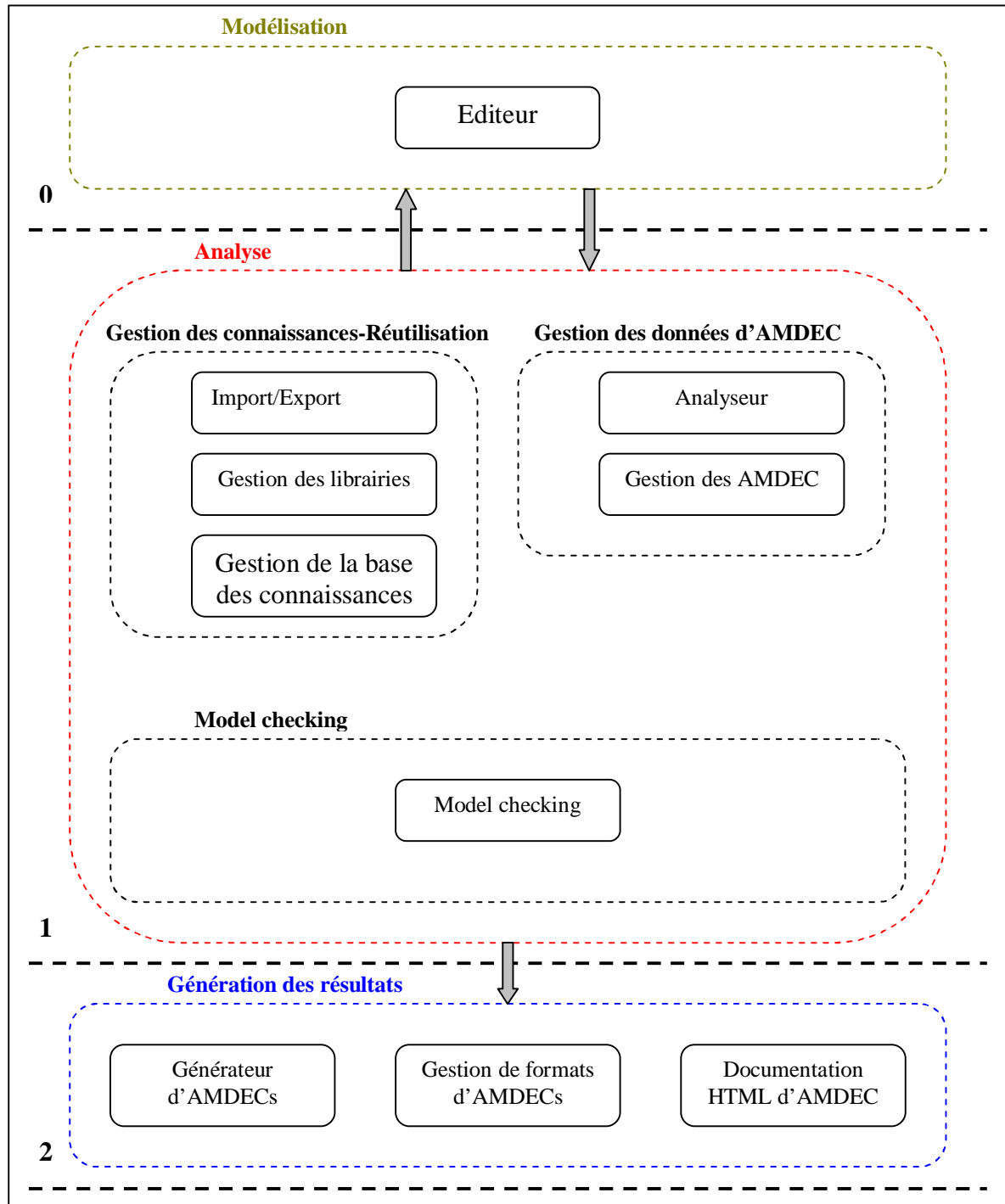


Figure 3.2 : Schéma fonctionnel de l'outil

2.1. La couche 0 : Modélisation

2.1.1. Editeur :

Constituée globalement d'un éditeur graphique, cette couche permet à l'analyste d'introduire une abstraction de son système à analyser sous forme de blocks diagrammes fonctionnels, qui sont en général sous forme de graphes. Développé à partir de Open Source **GPGraphpad**, l'éditeur est une application MDI (Multiple Document Interface). La figure suivante illustre l'interface générale de l'éditeur de schémas fonctionnels.

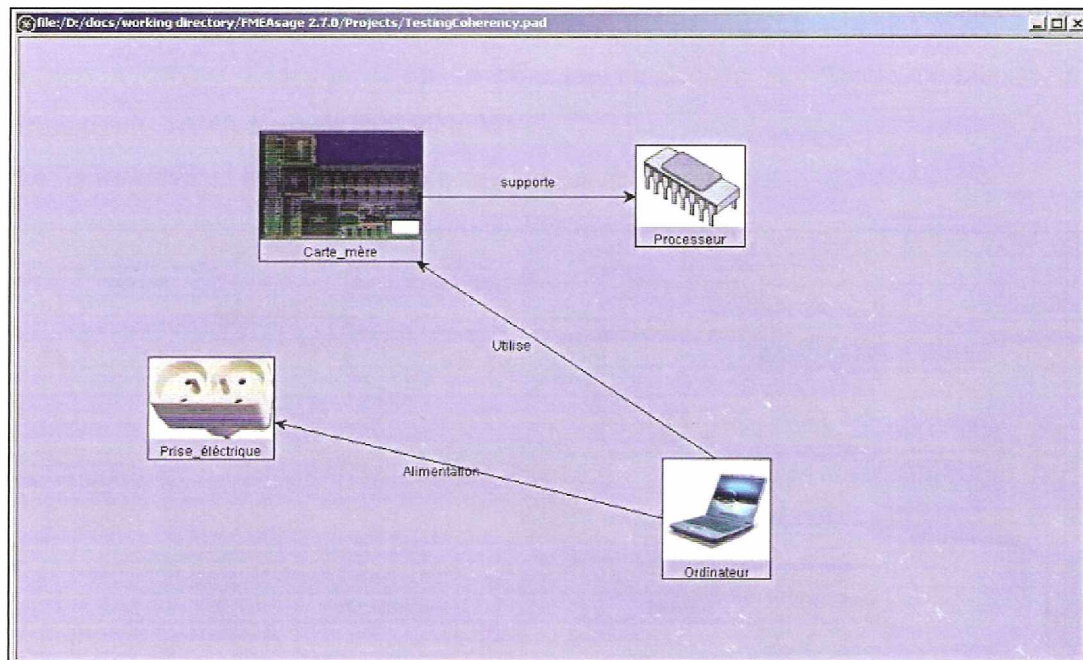


Figure 3.3 : Editeur de FMEASage

2.2. La couche 1 : l'analyse

Cette couche est la plus importante, elle englobe trois modules principaux : gestion des données de l'AMDEC, gestion des connaissances et réutilisations et enfin le module de génération de résultats.

2.2.1. Gestion de données de l'AMDEC :

S'occupant de la gestion de toutes les données relatives à l'AMDEC, ce module est constitué de trois sous modules qui se partagent la tâche de gérer les données relatives à l'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités du système objet d'analyse. Ces sous modules sont respectivement : l'analyseur, la gestion des AMDECs.

a. L'analyseur

L'analyseur contient les structures de données pour représenter les informations de l'AMDEC, il contient aussi les méthodes qui implémentent les opérations de :

- Passage d'information de synchronisation entre diagrammes ;
- calcul de différentes données (calculables de l'AMDEC tel que : le RPN...)

b. Gestion des AMDEC

Ce module gère les AMDECs qui sont modélisés sous forme de projets. L'analyste démarre une AMDEC en lui créant un projet, ce qui veut dire qu'à chaque produit correspond un système à analyser donc une AMDEC à générer. Comme précisé précédemment, le système hiérarchique sont supportés, ils peuvent être modélisés en blocks diagrammes hiérarchiques.

Et pour faciliter la navigation entre diagrammes, un panneau a été introduit, qui contient en permanence tous les diagrammes d'un projet sous forme d'une arborescence. L'analyste peut accéder à un diagramme en double cliquant sur la correspondance. Des fonctionnalités de gestion de projets ont été implémentées pour faciliter et simplifier la gestion des projets d'AMDECs.

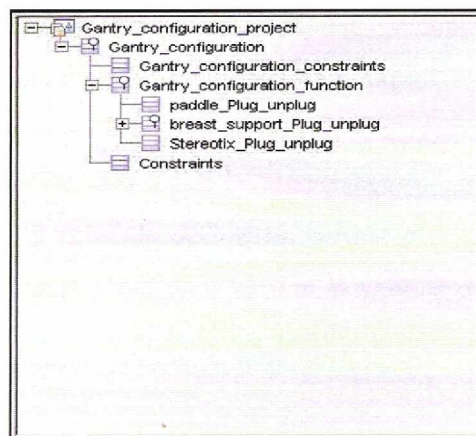


Figure 3.4 : Arborescence des éléments d'un projet

2.2.2. Gestion des connaissances-réutilisation :

Ce module est l'implémentation des processus servant à faire de la réutilisation, que ça soit par utilisation de bibliothèques ou même par l'utilisation d'AMDECs déjà existantes. Cette partie comporte trois sous modules qui sont : l'import/export, gestion des librairies, gestion de la base de connaissances.

a. Import/Export

De plus en plus, les applications échangent des données, il y a bien sûr le fameux « Copier/Coller », qui marche dans de nombreuses occasions. Mais dans des cas plus

difficiles ou plus spécifiques, il faut recourir à des opérations d'importation ou d'exportation. **FMEA-Sage** gère l'importation et l'exportation de /vers plusieurs formats de données. Ainsi, l'outil permet d'exporter les données du schéma fonctionnel et de l'AMDEC vers une multitude de formats à savoir : JPG, GIF, PNG qui sont des formats images (les schémas fonctionnels peuvent être exportés dans des images) et les formats GXL et XML. Il peut aussi importer des données au format : GXL, XML, et Excel.

a.1. Import/Export de/vers XML

Le langage XML permet de définir un format d'échange selon les besoins de l'utilisateur. Il offre des mécanismes pour vérifier la validité du document produit, XML est un langage lisible qu'aucune connaissance ne doit théoriquement être nécessaire pour comprendre un contenu du document. Il offre aussi une structure arborescente qui permet de modéliser la majorité des problèmes informatiques. La portabilité, est le plus grand point, qui a forcé à utiliser XML comme format standard d'import/export.

Pour exporter les données vers le format XML ou extraire des données d'un fichier XML, l'application doit pouvoir lire et comprendre les données du document XML. Cette opération est possible à l'aide d'un outil appelé analyseur.

a.2. Import de données à partir de fichiers Excel

L'introduction d'un outil dans un processus quelconque provoque une modification de la mise en place de ce dernier, à titre d'exemple, certains mettaient en œuvre leurs AMDECs en faisant un brainstorming des composants, fonctions du système objet d'analyse cela peut provoquer un oubli d'éléments. L'outil leur offre une méthodologie d'étude et conduite d'AMDECs.

Cependant, un grand nombre d'AMDECs sont reprises à chaque fois pour les mettre à jour ou les utiliser pour mettre en œuvre d'autres AMDECs, ces AMDECs ne sont pas malheureusement exploitables par l'outil ceci est considéré comme un handicap, car les analystes sont obligés de ré-entrer toutes les données des anciennes AMDECs qui vont être reprises. Un temps considérable sera perdu pour réaliser cette opération alors mieux ne vaut-il pas continuer à travailler avec le brainstorming ?

C'est ce qui a motivé pour implémenter un mécanisme d'importation de données Excel. Il est à noter que, vu le manque de liens explicites dans les AMDECs au format Excel, l'outil n'importe que les composants sous forme de blocks, les liens inter blocks et les niveaux ne sont pas faits. Ainsi, lors de l'import de données d'un fichier Excel, les composants seront mis sur un niveau, il appartient à l'analyste de les mettre au niveau système/sous-système.

b. Gestion des bibliothèques

Le mécanisme de réutilisation implémenté est très puissant, cela est dû en grande partie à la facilité et la simplicité de l'utilisation de sa bibliothèque de réutilisation. En effet que l'analyste ait conçu son composant et après l'avoir testé, il peut l'insérer dans la bibliothèque des composants en un clin d'œil. L'outil met à la disposition de l'utilisateur une fonctionnalité lui permettant de classer ces composants dans la bibliothèque. Ces éléments peuvent être rangés selon leurs types, leurs fonctionnalités, leurs structures formant ainsi une arborescence

d'éléments prêts à être exploités dans la conception ou la mise à jour des schémas fonctionnels / AMDECs.

La figure suivante illustre l'arborescence des composants dans la bibliothèque de l'outil.

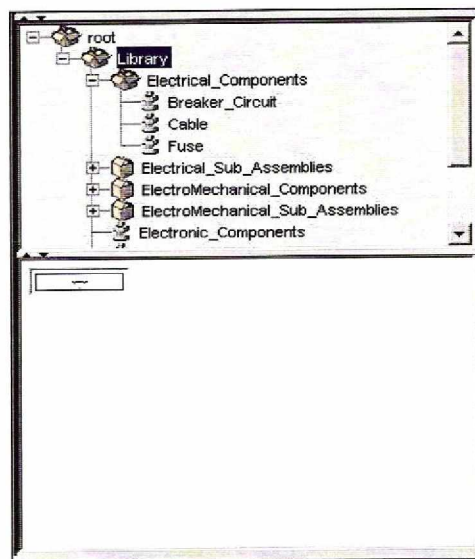


Figure 3.5 : Arborescence de la librairie

c. Gestion de la base des connaissances

La base de connaissance est concrétisée par une base de données MySQL. L'accès à cette base de donnée est assuré à l'aide des pilotes JDBC et du pilote d'interface spécifique à MySQL.

L'outil met à la disposition de l'utilisateur une procédure de mise à jour de la base de données qui la rend évolutive et maintenable.

2.2.3. Model checking d'AMDEC

Un model de contrôle des AMDECs est mis en place pour vérifier la cohérence, la pertinence et la complétude des AMDECs.

Le model checking d'AMDECs produit en sortie des messages, qui sont soit des avertissements soit des erreurs, qui seront classifiés dans une arborescence pour mieux les parcourir comme le montre la figure suivante qui représente la sortie du model checking d'une AMDEC faite.

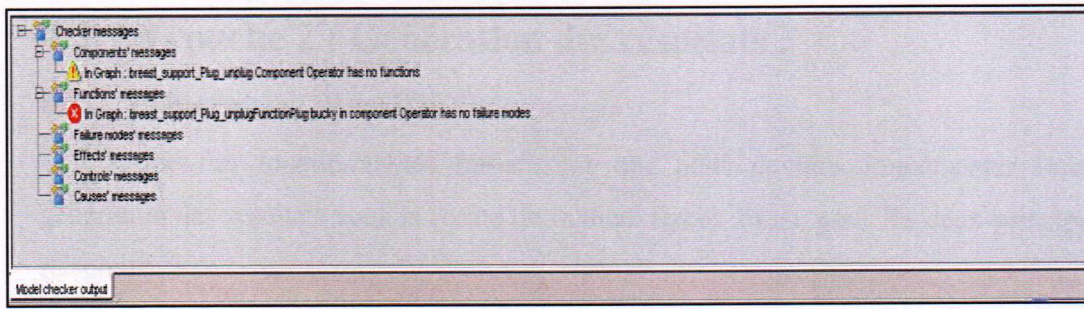


Figure 3.6: Sortie du model checking d'AMDECs

Ce module permet aussi la génération de statistiques sur les sévérités des effets des défaillances, sur les occurrences des causes et sur les RPNs. Ces statistiques sont présentées à l'analyste sous forme d'histogrammes, la figure suivante illustre ce concept :

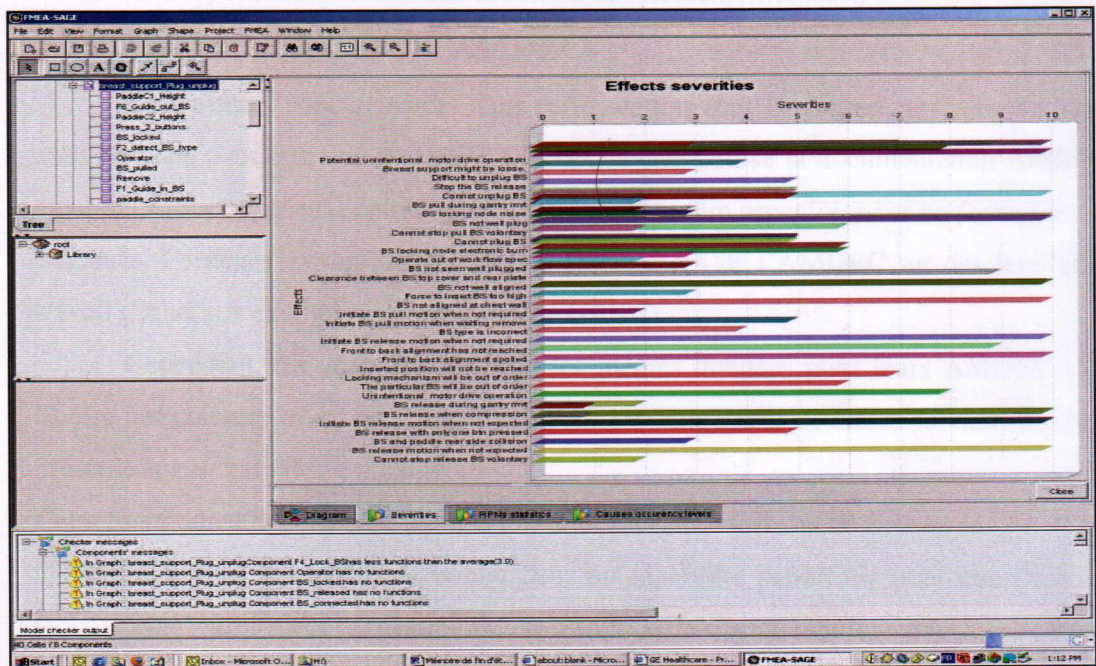


Figure 3.7 : Exemple d'histogramme de sévérités d'effets

2.3. La couche 2 : Génération des résultats

2.3.1. Générateur d'AMDECs

Les résultats sont générés sous un format de fichiers Excel. Et ce, pour les deux principales raisons :

- se conformer au standard de l'entreprise, et par ailleurs permettre aux gens d'utiliser un format familier ;
- permettre l'utilisation de ces résultats pour construire des modèles de diagnostique pour les autres outils.

2.3.2. Gestion de formats d'AMDECs

Les formats sous-entendus dans cette section sont les différents types de sortie sous lesquels peut être une AMDEC. L'AIAG¹⁶ a standardisé la documentation AMDEC, ainsi toutes les données d'entrées et de sortie doivent être organisées sur un formulaire en colonnes. Certaines entreprises conservent les données de l'AMDEC sur des feuilles de travail (Excel par exemple).

Cependant, les analystes utilisent les mêmes données pour leurs AMDEC, mais l'ordre des colonnes n'est parfois pas respecté.

Cette fonctionnalité permettra aussi d'importer plusieurs formats de fichiers Excel. Ainsi, il suffit d'ajouter le modèle du fichier dans un répertoire prédéfini pour que l'outil le reconnaisse, l'utilisateur sera alors amené à introduire quelques informations concernant le niveau format.

2.3.3. Génération de la documentation HTML de l'AMDEC

La documentation est une partie très importante de tout projet. Elle garantit un bon transfert des connaissances entre les équipes et une continuité du travail déjà accompli. Les documents contiennent les cahiers de charges des projets, leurs descriptions. Il serait intéressant d'inclure les schémas fonctionnels des systèmes développés au cours de ces projets dans les documentations. L'outil permet de réaliser des AMDECs sur ces systèmes et réutiliser ces schémas fonctionnels pour la documentation. Les fichiers HTML seront générés en parcourant le schéma fonctionnel du système objet d'analyse et en copiant les données qui y sont encapsulées vers un rédacteur de fichiers XML qui est le JDOM.

3. Réutilisation

La réutilisation est parue depuis longtemps comme un moyen d'améliorer la qualité et diminuer les coûts et les délais dans la production. A titre d'exemple, T.C. Jones indique d'ailleurs que seulement les 15% d'un logiciel sont spécifiques à l'application pour laquelle celui-ci a été développé et 85% tirés du processus de réutilisation.

¹⁶ Automotive Industry Action Group

3.1. Apports et freins de la réutilisation

La réutilisation est considérée de plus en plus comme une des solutions de réduction des coûts de production. Cependant, la mise en œuvre concrète des principes de réutilisation paraît se faire attendre provoquer par des freins de type organisationnel, technique et humain.

Le tableau suivant confronte les avantages et les inconvénients de la réutilisation :

Tableau 3.1: Avantages et inconvénients de la réutilisation

Inconvénients	Avantages
<ul style="list-style-type: none"> Le coût d'un composant augmente, car pour qu'il soit réutilisable, il demande plus d'investissements à la création (documentation, qualité...). Le coût de stockage, de recherche, d'accès et d'adaptation éventuelle des composants s'ajoute également au coût de départ. 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des coûts de développement et de maintenance à long terme (pour les composants utilisant d'autres composants existants). Réduction du temps de développement.
<ul style="list-style-type: none"> Le développeur doit savoir créer « réutilisable », c'est-à-dire savoir travailler pour les autres : besoin d'une conscience collective, et avoir un soucis de qualité sur son travail particulier (notamment du point de vue de la documentation associée au composant). 	<ul style="list-style-type: none"> L'utilisation d'un référentiel adéquat, ergonomique et riche en composants réutilisables fiables et bien documenté augmente la productivité en diminuant le coût de développement.

Ce tableau met principalement en valeur les contradictions entre court et long terme. En effet, la réutilisation consomme des ressources à court terme, mais elle apporte ses bénéfices à long terme. Bien que le développement de composants réutilisable requière un travail supplémentaire, ce même travail est épargné lors de chaque réutilisation de ce composant. La réutilisation dépasse donc le cadre d'un projet pour s'inscrire dans une politique plus générale dont le retour sur investissement s'inscrit dans le futur.

3.2. Organisation de la réutilisation

La mise en place de la réutilisation passe par une organisation stricte. Nous précisons cette organisation, à savoir, le référentiel de composants réutilisables, les différents types de composants gérés par ce référentiel, et enfin l'organisation humaine nécessaire au bon déroulement d'une telle démarche.

3.3. Référentiel des composants réutilisables

Tous les composants réutilisables doivent être partageables par tous. La pièce maîtresse de la réutilisation est donc un référentiel regroupant les éléments réutilisables selon le domaine d'application. C'est ce média qui servira à faciliter la réutilisation en traitant l'archivage des composants, la classification, la recherche et l'extraction des composants. Véritable structure d'hébergement des composants, le référentiel sert de base de connaissance pour toute réutilisation. Il doit être le plus proche des analystes, développeurs,...

3.4. L'organisation de la réutilisation

Dans le cas idéal, la mise en place d'une démarche de réutilisation au sein du groupe nécessite la création d'une organisation indépendante des différents projets qui favorisera la diffusion d'une culture de réutilisation. Son rôle consistera à maintenir une stratégie de réutilisation.

3.5. Conception des composants réutilisables

Pour pouvoir réutiliser il faut posséder des composants réutilisables. L'étape initiale de la réutilisation est donc la création de composants réutilisables qui doivent être identifiés. L'identification se fait en désignant des composants qui pourront être réutilisés dans le même ou dans d'autre projet.

Il est à noter qu'avant même d'archiver un composant, ce dernier doit passer par une étape de test et validation. Cette étape permet de donner une idée du niveau de fiabilité et de robustesse du composant testé. Les tests les plus intéressants sont ceux qui permettront de prouver que le composant fonctionne correctement dans sa nouvelle utilisation et offrant des facilités pour diagnostiquer et éliminer un dysfonctionnement.

Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons présenté la structure fonctionnelle en couches de l'outil. Nous avons donné dans chaque couche ses composantes, ses bibliothèques. Cet outil sert d'aide à l'automatisation et la génération des AMDECs. Cependant, certains utilisateurs peuvent générer des AMDECs qui sont incohérentes, incomplètes et /ou impertinentes sans se rendre compte. Des informations d'AMDECs générées pour un même système sont différentes d'un utilisateur à l'autre, comme l'emploi d'un vocabulaire différent.

Par rapport à ces anomalies citées dessus et dans le cadre d'amélioration continue de l'outil, nous allons proposer une approche basée sur l'ontologie (taxonomie) qui aidera à générer des AMDECs cohérentes. Des notions d'ontologie (taxonomie) seront présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Notions d'ontologie

Introduction

Dès les années 1970, la notion d'ontologie existait, sans être nommée et de façon transversale, dans les différents systèmes de représentation de connaissances. Le terme « ontologie », construit à partir des racines grecques *ontos* (ce que existe, l'existant) et *logos* (le discours, l'étude), est un mot que l'informatique a emprunté à la philosophie au début des années 1990. En philosophie, l'Ontologie est une branche fondamentale de la métaphysique, qui s'intéresse à la notion d'existence, aux catégories fondamentales de l'existant et étudie les propriétés les plus générales de l'être. [Web 7]

Dans cette partie, nous définirons l'ontologie selon différents contextes ; nous donnerons également certains principes et les étapes à suivre pour la construction d'une ontologie. Les ontologies sont des objets vivants, ainsi nous donnerons les différentes activités qui rassemblent leur cycle de vie et, enfin, nous présenterons la modélisation de la spécialisation (taxonomie) selon son organisation structurelle, ontologique et sémantique.

1. Définitions [Web 6]

Il est difficile de définir ce qu'est une ontologie d'une façon définitive. Le mot est en effet employé dans des contextes très différents touchant à la philosophie, la linguistique ou l'intelligence artificielle. **Guarino** part de sept interprétations possibles pour chercher à clarifier ce qu'est une ontologie. Outre le sens philosophique originel, une ontologie désigne en effet une modélisation conceptuelle, ou une représentation de cette modélisation. Dans les deux cas, on parle d'ontologie formelle pour désigner aussi bien la rigueur de la modélisation que la structure de sa représentation. Cela nous amène à la notion de convention ontologique, qui est une modélisation conceptuelle du sens du formalisme de représentation. Enfin, on distingue différents types d'ontologies selon le domaine modélisé.

1.1. Ontologie comme étude de ce qui est

L'ontologie en tant que domaine est la partie de la philosophie qui s'intéresse à la nature et l'organisation *a priori* de la réalité. Celle-ci est indépendante de la forme des connaissances, et est donc par définition indépendante des utilisateurs ou des domaines d'application.

Sowa fait de l'ontologie en tant que domaine l'étude des catégories d'entités abstraites et concrètes qui existent ou peuvent exister. C'est elle qui remplit les boîtes et les cercles des graphes conceptuels. L'ontologie porte alors sur une abstraction structure de la réalité. On peut considérer que cette abstraction contient des connaissances.

Le champ de l'ontologie est l'étude du sens de ces connaissances, et elle est clairement distincte de l'épistémologie. Celle-ci est l'étude de la nature des connaissances et de leur justification. Elle se base sur la structure des connaissances pour en produire de nouvelles.

Si l'ontologie est l'étude de ce qui est, le résultat de cette étude sur un domaine s'appelle **une ontologie** du domaine.

1.2. Ontologie comme conceptualisation

L'ontologie au sens philosophique a été une source d'inspiration pour l'acquisition, la représentation théorique et le partage des connaissances, ainsi que pour le traitement du langage naturel. Dans ces domaines, ontologie est souvent synonyme de modèle conceptuel, ce qui est assez éloigné du sens philosophique. **Welty** introduit cependant une nuance. Il définit un modèle conceptuel comme l'implémentation d'une ontologie qui satisfait les contraintes d'une application. En revanche, une ontologie est indépendante des contraintes d'exécution, son but étant de spécifier la conceptualisation du monde sous-jacent à l'application. Il rejoint la première définition de **Gruber**, pour qui une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation.

Pour **Chandrasekaran**, une ontologie est une théorie du contenu sur les sortes d'objets, les propriétés de ces objets et leurs relations possibles dans un domaine spécifié de connaissances. Elle fournit les termes potentiels pour décrire les connaissances sur ce domaine. **Hafner** rejoint cette définition d'une manière plus pragmatique. Cette définition est également reprise par **Noy**. Bien qu'il y ait un désaccord sur le sens précis du mot "ontologie", la plupart des chercheurs en intelligence artificielle conviennent que les fondations ontologiques d'un modèle de connaissances est l'ensemble des catégories de haut niveau et des relations utilisées pour construire les entités du modèle les plus spécifiques. Finalement, en dépit des divergences, **Chandrasekaran** dégage les éléments qui constituent une ontologie. Notamment, le monde est constitué d'**objets**, dont les **propriétés** ou **attributs** peuvent prendre des valeurs. Les objets peuvent être associés par des **relations**, par exemple être composés de parties. Propriétés et relations peuvent varier au cours du temps. Ces variations mettent en jeu des **événements** et des **processus**, éventuellement associés par la relation de causalité.

De plus, alors que la validité d'une ontologie philosophique est absolue, celle d'une ontologie informatique dépend d'un consensus, et est donc plus restreinte. Ce point amène **Gruber** à proposer une seconde définition d'une ontologie comme un accord sur une conceptualisation partagée. Il peut alors exister plusieurs ontologies concurrentes du même domaine. Guarino ajoute que la conceptualisation peut n'être que partielle.

***Définition 1** : Une ontologie est un accord sur une conceptualisation partagée et éventuellement partielle.*

1.3. Ontologie comme représentation d'une conceptualisation

Si ontologie peut être synonyme de modèle conceptuel, certains auteurs emploient également ce terme pour désigner une représentation de ce modèle, dans le sens du modèle conceptuel de **Welty**. Pour **Sowa**¹, une ontologie est un catalogue des types de choses supposées exister dans un domaine, du point de vue d'une personne utilisant un langage pour parler du domaine. C'est également ce sens que retient **Rector** lorsqu'il souligne et analyse la difficulté de définir des formalismes pour la représentation de concepts cliniques et de les peupler avec des connaissances cliniques ou des ontologies.

¹ <http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/index.htm>

Deux conceptualisations peuvent alors avoir la même représentation si celle-ci ne rend pas compte des nuances. Inversement, une conceptualisation peut admettre plusieurs représentations différentes.

1.4. Ontologie formelle

Si une ontologie est une représentation d'une conceptualisation, la rigueur et l'utilisation d'ontologies par des programmes poussent à définir des principes portant à la fois sur la conceptualisation et sur sa représentation. Adopter des principes différents dans les deux cas contribue au caractère relatif des ontologies informatiques vu précédemment.

Adopter des principes rigoureux de modélisation des connaissances répond aux besoins de partager ces connaissances et de les utiliser dans des contextes différents. Une ontologie formelle est alors une théorie des distinctions formelles entre les éléments d'un domaine, indépendamment de leur réalité.

Adopter des principes de représentation permet également de s'appuyer sur une organisation précise des connaissances. Une ontologie formelle est constituée d'une collection de noms pour les types de concepts et de relations. Ils sont organisés dans un ordre partiel par la relation type/sous-type, par opposition une ontologie informelle constituée d'un catalogue de types qui sont soit non définis, soit définis par des assertions en langage naturel. **Guarino** parle alors de *théorie ontologique* pour désigner une théorie logique cherchant à exprimer des connaissances ontologiques.

Ces deux aspects sont souvent liés. **Guarino** reprend la définition d'une ontologie formelle proposée par **Cocchiarella**: "*systematic, formal, axiomatic development of the logic of all forms and modes of being*". Cette définition combine les deux nuances de "formel" à la fois comme synonyme de rigueur et de description de la forme. Aussi, une ontologie formelle s'intéresse moins à l'existence de certains individus qu'une description rigoureuse de leur forme. C'est donc une théorie des distinctions *a priori* entre les entités du monde et entre les catégories utilisées pour modéliser le monde. Lorsque la modélisation et la représentation d'une ontologie reposent sur des principes mathématiques, les deux aspects de "formel" sont pris en compte. Nous retenons la définition suivante :

Définition 2 : Une *ontologie formelle* est un développement systématique, formel et axiomatique de la logique de toutes les formes et modes d'existence.

La notion d'ontologie formelle ajoute donc une représentation explicite et systématique des propriétés du modèle et de ses éléments à la notion d'ontologie comme une conceptualisation partagée.

1.5. Différents niveaux d'ontologies

Indépendamment des formalismes retenus, on distingue différents niveaux d'ontologies selon le domaine modélisé et éventuellement les tâches pour lesquelles elles sont conçues.

- Les **ontologies d'application** ont un domaine de validité restreint et correspondent l'exécution d'une tâche.
- Les **ontologies de domaine** ont un faisceau plus large, une bonne précision et ne sont pas propres à une tâche particulière.
- Les **ontologies générales** ne sont pas propres à un domaine. Leur précision est moyenne.
- Les **ontologies supérieures (upper level ontologies)** représentent des concepts généraux comme l'espace, le temps ou la matière. Elles sont universelles. Les concepts des trois autres types d'ontologie peuvent y faire référence.

2. Construction d'une ontologie

2.1. Principes

Un certain nombre de travaux proposent des principes de construction d'ontologies.

Th. R. Gruber propose ainsi un certain nombre de principes à respecter pour construire une ontologie :

- **Clarté.** Les ambiguïtés doivent être réduites. Quand une définition peut être axiomatisée, elle doit l'être. Dans tous les cas, des définitions en langage naturel doivent être fournies.
- **Cohérence.** Une ontologie doit être cohérente. Les axiomes doivent être consistants. La cohérence des définitions en langage naturel doit être vérifiée autant que faire se peut.
- **Extensibilité.** L'ontologie doit être construite de telle manière que l'on puisse l'étendre facilement, sans remettre en cause ce qui a déjà été fait.
- **Biais d'encodage minimal.** L'ontologie doit être conceptualisée indépendamment de tout langage d'implémentation. Le but est de permettre le partage des connaissances (de l'ontologie) entre différentes applications utilisant des langages de représentation différents.
- **Engagement ontologique minimal.** Une ontologie doit faire un minimum d'hypothèses sur le monde : elle doit contenir un vocabulaire partagé mais ne doit pas être une base de connaissances comportant des connaissances supplémentaires sur le monde à modéliser. [Web 9]

2.2. Définitions des objectifs et utilisation de scénarios

Fernandez préconise de ne pas commencer le développement d'une ontologie sans savoir quels seront ses buts et sa portée. Afin d'identifier objectifs et limitations il est impératif de savoir pourquoi l'ontologie va être créée et quels seront ses utilisateurs. Une première importante étape doit donc être la création d'un document qui définit les spécifications de l'ontologie.

Une technique intéressante est l'utilisation de scénarios identiques à ceux déjà utilisés en génie logiciel. Les scénarios sont un point d'entrée dans le projet car ils sont riches en informations définissant les problèmes existants et les désirs des utilisateurs d'un système. Ils ont l'avantage de permettre une communication en langage naturel tout en saisissant la situation et son contexte, les dépositaires, les problèmes et les solutions avec le vocabulaire qui leur est associé. [Web 8]

2.3. Collecte des données

La collecte de données est la première étape de la création d'une ontologie. Un des principes à appliquer est de ne jamais empêcher l'utilisateur de dire ce qu'il sait, mais de l'encourager à dire les choses d'une manière qui sera facilement exploitable.

Cette collecte de données s'inscrit dans un processus comprenant les phases suivantes :

- préparation
- collecte
- pré-analyse et modélisation informelle
- vérifications
- formalisation et validation

Il existe différentes techniques à utiliser lors de l'acquisition de connaissances :

- Des entretiens informels avec des experts dressant un brouillon des spécifications requises ;
- L'analyse de texte informelle, pour étudier les principaux concepts et pouvoir ébaucher une première représentation des connaissances ;
- L'analyse formelle de texte afin d'identifier les différentes structures (définitions, affirmations, ...) et le type de connaissances contenues dans chacune d'elles (concepts, attributs, valeurs, relations) ;
- Des entretiens structurés avec des experts pour obtenir des connaissances spécifiques et détaillées sur les concepts, leurs propriétés et leurs relations et évaluer les modèles mis au point.

Lors de cette phase, il faut également faire bien attention à repérer les différentes terminologies ou ontologie existantes (plus ou moins explicitement) afin de les intégrer dans le modèle en cours de création. [Web 8]

2.4. Etude linguistique et sémantique

Bachimont décompose le processus de modélisation d'une ontologie en trois étapes correspondant à trois niveaux :

- le niveau sémantique qui décrit la sémantique en langage naturel des concepts
- le niveau ontologique qui les décrit de façon formelle
- le niveau informatique qui spécifie leur utilisation dans ce cadre précis

Durant la collecte des données et la définition des objectifs, différents termes sont identifiés, parfois plusieurs pour un même concept. L'étude de la terminologie est au cœur de l'ingénierie des connaissances et est en charge de sélectionner des termes candidats et de fournir une définition consensuelle. Le premier objectif est donc de formaliser le contexte et établir une terminologie commune à tous. Il faut cependant prendre garde lors de la création d'un tel corpus, car les choix effectués risquent d'introduire des biais difficiles ensuite à évaluer.

La normalisation sémantique est le choix d'un contexte de référence correspondant à la tâche ou au problème qui a motivé la création de l'ontologie. Il est important que ce travail de normalisation soit effectué conjointement par l'ingénieur des connaissances et les utilisateurs. **Uschold** et **Gruninger** donne quelques lignes à suivre pour la création de définitions :

- Ecrire une définition en langage naturel aussi claire que possible
- S'assurer de la consistance avec les termes déjà existants
- Indiquer les relations avec les termes couramment utilisés et qui sont similaires à celui en train d'être défini
- Eviter les définitions circulaires
- La définition d'un terme doit être nécessaire et suffisante autant que possible

Lors de l'étude des termes existants on peut tomber sur une des situations suivantes :

- Le terme possède une et une seule définition : le cas idéal, rarement rencontré
- Plusieurs termes ont la même définition : ce sont des synonymes, un seul doit être conservé et les autres mis dans un dictionnaire de synonymes
- Un terme a plusieurs définitions : ici le terme est ambigu et les choses se doivent d'être clarifiées

Pour résoudre ces ambiguïtés plusieurs choix sont possibles :

- Supprimer l'utilisation d'un terme trop ambigu
- Clarifier les idées en définissant chaque concept avec quelques termes techniques
- S'il existe plusieurs concepts, ne choisir que celui qui mérite d'être dans l'ontologie
- Choisir un nouveau terme pour chaque concept [Web 8]

2.5. Création de concepts

Durant la phase d'étude terminologique et sémantique, termes et définitions ont été recueillis. La tâche suivante est de conceptualiser toutes les notions sous-jacentes au vocabulaire utilisé.

Uschold et **Gruinger** utilisent la méthode suivante :

- Placer le terme dans une catégorie
- Conserver toutes les traces des décisions prises afin de pouvoir procéder à d'éventuelles modifications
- Grouper les termes similaires dans les mêmes catégories
- Identifier les références sémantiques entre les catégories

S'ensuit alors le travail de conceptualisation où il est nécessaire de reconsidérer chaque catégorie afin d'éliminer le plus possible les similarités sémantiques entre catégories.

Fernandez a une approche quelque peu différente car il structure le domaine de connaissances en verbes et en concepts. Les concepts sont décrits au moyen d'un dictionnaire de données, de tables d'attributs d'instances, de tables d'attributs de classes, de tables de constantes et d'arbres de classification des attributs. Les verbes, quant à eux, représentent les actions possibles dans le domaine et sont généralement associés à un dictionnaire qui va indiquer les conditions pour que l'action puisse être effectuée.

Gomez décrit les différentes activités de conceptualisation et les documents qui y sont associé :

- Dictionnaire de données : identifie les concepts du domaine et leur sémantique, les attributs.
- Arbre de classification de concepts : organise les concepts en taxonomie.
- Table d'attributs d'instance : fournit des informations sur les attributs et leur valeur dans une instance.

- Table d'attributs de classe : fournit des informations sur un concept et non ces instances. Pour chaque concept du dictionnaire une table est créée.
- Table de formules : contient des formules spécifiques au domaine pouvant utiliser différents attributs
- Arbre de classification d'attributs
- Table des instances [Web 8]

2.6. Création d'une taxonomie

La création d'une taxonomie est une étape importante dans la réalisation d'une ontologie. Différentes approches peuvent être envisagées :

- « Botton-up » : on démarre avec les termes les plus spécifiques et la structure est construite par génération. Cette approche permet de créer des ontologies avec des concepts très détaillés
- « Top-down » : on démarre avec les termes les plus génériques et la structure est construite par spécialisation. Cette approche permet de créer des ontologies très réutilisables car possédant un haut niveau d'abstraction
- « Middle-down » : les concepts centraux sont identifiés puis généralisés et spécialisés pour compléter la taxonomie. Cette approche permet l'émergence de thématique et améliore la modularité de la taxonomie.

Une taxonomie est en fait une classification basée sur les similarités. Sa présence est naturelle au sein de la représentation des connaissances car elle utilise des aptitudes inhérentes à chaque être humain :

- classement et identification : afin de pouvoir associer un objet à une catégorie
- classification ou clustering : afin de pouvoir créer des catégories à partir de groupes d'objets

La relation au cœur des taxonomies est la relation de subsomption. Cette relation permet de bâtir un mécanisme d'héritage dans lequel un objet hérite des caractéristiques d'un autre qui lui est supérieur dans la hiérarchie. Les taxonomies peuvent être créées avec différentes structures : arbres, treillis ou graphe à héritage multiple.

Une ontologie ne se définit toutefois pas uniquement par ces concepts mais aussi par les relations existantes entre ces concepts. Une relation est définie par les concepts qu'elle relie ; ces concepts sont la signature sémantique de la relation. [Web 8]

2.7. Formalisation

Une ontologie peut s'exprimer selon plusieurs degrés de formalisation allant des définitions le plus informelles en langage naturel aux expressions écrites en logique du premier ordre devant respecter une syntaxe et sémantique très stricte. Le degré de formalisation de l'ontologie va dépendre principalement des besoins. On peut considérer les quatre degrés suivants :

- très informel : exprimé en langage naturel
- semi-informel : exprimé dans une forme restreinte et structurée du langage naturel
- semi-formel : exprimé dans un langage artificiel défini formellement
- rigoureusement formel : défini en termes utilisant une sémantique formelle, théorèmes et preuves

- acquisition des connaissances nécessaires (analyse de textes, traitement automatique de la langue naturelle, plateformes collaboratives) ;
- conceptualisation et modélisation (*design pattern* ontologiques, méta-ontologies, entretien avec les experts) ;
- formalisation (méthodes et outils de l'Ontologie formelle, logiques de description et algorithmes de tableaux, analyse formelle de concepts, graphes conceptuels, formalismes du web sémantique RDF/S² et OWL³) ;
- intégration de ressources existantes (alignement automatique d'ontologies, traduction) ;
- implantation (graphes conceptuels, logiques de description, formalismes objets).

Un autre problème de conception et d'évolution est l'obtention et le maintien d'un consensus sur les choix de représentation et de conceptualisation faits dans l'ontologie. Suivant les usages, ce problème appelle des « collecticiels » et des outils de gestion des points de vue, des terminologies, des langues et des jargons différents.

Notons aussi que l'évolution pose le problème de la maintenance de ce qui repose déjà sur l'ontologie. En effet, une ontologie est à la fois un objet vivant intéressant en soi et un ensemble de « primitives » pour décrire des faits du monde et des algorithmes sur ces faits. Lorsque l'ontologie change, ses changements ont un impact sur tout ce qui a été construit au-dessus. Le maintien de la cohérence dans une ontologie et au-dessus d'une ontologie, l'historique et la gestion des versions, la ré-ingénierie et la propagation des changements après modification, sont des questions de recherche encore largement ouvertes. La maintenance de l'ontologie soulève donc des problèmes d'intégration technique et des problèmes d'intégration aux usages.

3.3. Diffusion

La phase de diffusion s'intéresse au déploiement et à la mise en place de l'ontologie. Les problèmes de cette phase sont fortement contraints par l'architecture des solutions. Dans un contexte d'application web, on reposera sur des technologies idoines. Pour le partage de fichiers, des architectures pair à pair ou autres architectures distribuées peuvent être utilisées. Pour l'intégration d'applications, des architectures de services web peuvent être une solution. Dans toutes ces architectures (serveurs web, services web, pair à pair, agents, etc.) la distribution des ressources (données, modèles, applications et utilisateurs) et leur hétérogénéité (syntaxes, sémantiques, protocoles, contextes, etc.) posent des problèmes de recherche sur l'interopérabilité (alignement et médiation) et le passage à l'échelle (larges bases, optimisation d'inférences, propagation de requêtes, syndication de données, composition de services, etc.).

3.4. Utilisation

La phase d'utilisation regroupe toutes les activités reposant plus ou moins directement sur la disponibilité de l'ontologie, par exemple, l'annotation de ressources (traitement de la langue, rétroingénierie de base de données, etc.), la résolution de requête (algorithme de projection de graphes avec contraintes), la déduction de connaissances et l'aide à la décision (moteurs d'inférence à base de règles), la navigation assistée et les services contextuels (analyse de contexte, identification et composition de services), l'analyse de gros volumes de connaissances (clustering, recherche de motifs récurrents, veille).

² Ressource Description Framework

³ Web Ontology Language

Toutes ces activités ont en commun de poser le problème de la conception des interactions avec l'utilisateur et de leur ergonomie (interfaces dynamiques, lien sémiotique-sémantique, profils et contextes d'utilisation). Sur ce point, l'ontologie apporte à la fois de nouvelles solutions (par exemple, les inférences exploitent les ontologies pour la génération dynamique d'éléments d'interfaces) et de nouveaux problèmes (par exemple, la complexification des modèles de données engendre des problèmes pour leur représentation et l'interaction avec ces représentations).

3.5. Gestion

L'activité permanente de gestion et planification souligne qu'il est important d'avoir un travail de suivi et une politique globale pour détecter ou déclencher, préparer et évaluer les itérations du cycle et s'assurer que l'on reste dans le cercle vertueux des systèmes d'information (où se succèdent contribution, utilisation, création).

3.6. Maintenance

Il est important de remarquer, qu'appliquée à un domaine en évolution une ontologie est appelée à évoluer. Ainsi la maintenance d'une ontologie est une tâche vitale car l'ontologie a pu être utilisée précédemment pour définir des briques de conceptualisation ou d'implémentation et un changement non averti pourrait rendre caduque tout travail effectué précédemment. [Web 8]

4. Modélisation de la spécialisation : taxonomie [Web 10]

Dans la culture occidentale, la spécialisation est la méthode la plus intuitive d'organiser des connaissances. Elle est utile pour en présenter des vues limitées, et joue un rôle critique pour leur intégration et leur réutilisation. Les ontologies apparaissent généralement comme une hiérarchie de concepts, depuis les niveaux supérieurs très généraux et indépendants du domaine vers les niveaux inférieurs, spécifiques de domaines de plus en plus restreints. Elle permet de représenter différents niveaux de généralité, et de propager les caractéristiques des éléments les plus généraux vers les plus spécifiques par héritage.

La spécialisation entre concepts repose sur la notion de subsomption. **Napoli** identifie trois conceptions de la subsomption.

Définition 3 (*approche extensionnelle*) Un concept **A** subsume un concept **B** si et seulement si l'ensemble des instances de **A** est inclus dans l'ensemble des instances de **B**

Définition 4 (*approche intensionnelle*) Un concept **A** subsume un concept **B** si tout ce qui est décrit par **B** est aussi représenté par la description plus générale de **A**

Définition 5 (*approche hybride*) Un concept **A** subsume un concept **B** si les définitions de **A** et de **B** impliquent logiquement que toute instance de **B** est également une instance de **A**

Les différences entre ces trois conceptions de la subsomption reposent donc sur la façon de décrire les individus du domaine. La définition 5 paraît être la plus proche de la démarche ontologique. La définition 4 correspond à l'approche orientée objets, tandis que la définition 3 est celle adoptée par les logiques de description.

La subsomption est un ordre partiel : elle est réflexive (**A** subsume **A**), antisymétrique (si **A** subsume **B** et **B** subsume **A**, alors **A** et **B** sont identiques) et transitive (si **A** subsume **B** et **B** subsume **C**, alors **A** subsume **C**). Les éléments reliés par la subsomption sont donc organisés en une hiérarchie appelée **taxonomie**.

Bien qu'il s'agisse d'une approche relativement simple, la décomposition taxonomique a conduit à de nombreuses erreurs, en particulier, des systèmes constitués uniquement d'une taxonomie. Il est donc nécessaire de rechercher des techniques d'analyse rigoureuses pour éviter les incohérences.

Les taxonomies peuvent être examinées sous trois points de vue : structurellement, ontologiquement et sémantiquement.

4.1. Organisation structurelle

Le raisonnement s'appuie sur la structure de la hiérarchie taxonomique. Cette structure doit donc être suffisamment rigoureuse et explicite.

Le principe d'exclusivité impose que les fils directs d'un concept soient disjoints deux à deux. L'application ou non de ce principe doit être explicitée pour pouvoir interpréter une hiérarchie qui décompose être vivant en Végétal et Animal (exclusifs) puis Animal en Carnivore, Herbivore et Omnivore (non exclusifs).

Dans ce dernier cas, on peut considérer que la hiérarchie est correcte et que le principe d'exclusivité s'applique. Un carnivore est alors un animal qui ne se nourrit que de viande. Mais on peut également considérer qu'un carnivore est un animal qui se nourrit de viande. Le principe d'exclusivité peut alors être rétabli en ne décomposant Animal qu'en Carnivore et en Herbivore, et en permettant l'héritage multiple pour Omnivore.

Guarino souligne la nécessité de tenir compte des implications ontologiques des choix taxonomiques en cas d'héritage multiple afin d'éviter les réductions (lorsque la nature du plus général ne rend pas complètement compte de celle du plus spécifique) ou les collisions de sens (lorsque les deux parents ont des sens incompatibles), ou encore les généralisations abusives (lorsque la nature du plus spécifique affaiblit celle du plus général).

Galen indique également clairement que les concepts doivent être organisés en hiérarchies disjointes et non-exhaustives, c'est-à-dire que chaque concept a exactement un parent direct et est disjoint des autres fils de ce parent.

4.2. Organisation ontologique

Guarino et **Welty** mènent une étude basée sur la nature ontologique des arguments de la relation de subsomption. Plus particulièrement, ils fondent leurs distinctions sur des méta-propriétés de ces arguments, et en déduisent des contraintes de cohérence. Ces méta-propriétés reposent sur les notions d'identité, d'unité, d'essence et de dépendance. Elles sont relatives à la conceptualisation.

Les définitions 6 à 16 sont adaptées de :

- **Identité** L'identité permet de distinguer une instance d'une classe d'une autre instance de cette classe.

Les relations qui permettent de répondre à cette question forment les critères d'identité de la classe, comme l'indique la définition 6. Ils ne doivent pas être confondus avec les critères d'appartenance à une classe, qui permettent de déterminer si un individu est une instance de la classe, mais pas de distinguer deux instances.

Définition 6 La relation I_C est un critère d'identité pour le concept C si et seulement si $C(x) \wedge C(y) \Rightarrow (I_C(x, y) \Leftrightarrow x = y)$

Guarino propose de ne relier par une relation *est un* que les concepts partageant un critère d'identité commun. Pour une formalisation et une étude théorique des critères d'identité et de leur propagation par héritage. Ce principe illustre par exemple pourquoi ensemble ordonné ne doit pas être relié à ensemble par la relation *est un*.

Le principe précédent complète le principe de **Lowe**, qui stipule que les entités ayant des critères d'identité différents sont nécessairement distinctes (voir définition 7).

Ce principe est notamment repris par **Borgo** et **al.** sous une forme équivalente.

Son application permet d'introduire une distinction systématique entre les catégories ontologiques.

Cela conduit à l'identification de huit niveaux ontologiques basés sur les différents types de critères d'identité : atomique, statique, méréologique⁴, physique, fonctionnel, biologique, intentionnel et social. En particulier, le critère d'identité du niveau méréologique est extensionnel, c'est-à-dire que deux individus sont les mêmes si et seulement si ils ont les mêmes parties. Le niveau méréologique convient donc à la représentation des portions de matière. Les critères d'identité du niveau physique sont liés aux configurations spatiales de la matière. Le niveau physique sert donc à décrire les objets concrets.

La figure 4.2 page suivante présente le cadre taxonomique général qui en découle.

Définition 7 Principe de Lowe: "Personne ne peut instancier deux classes, si elles ont différents critères d'identité, qui les sont associés"

⁴ Étude des relations de composition, qui permettent de représenter la structure composite d'un domaine.

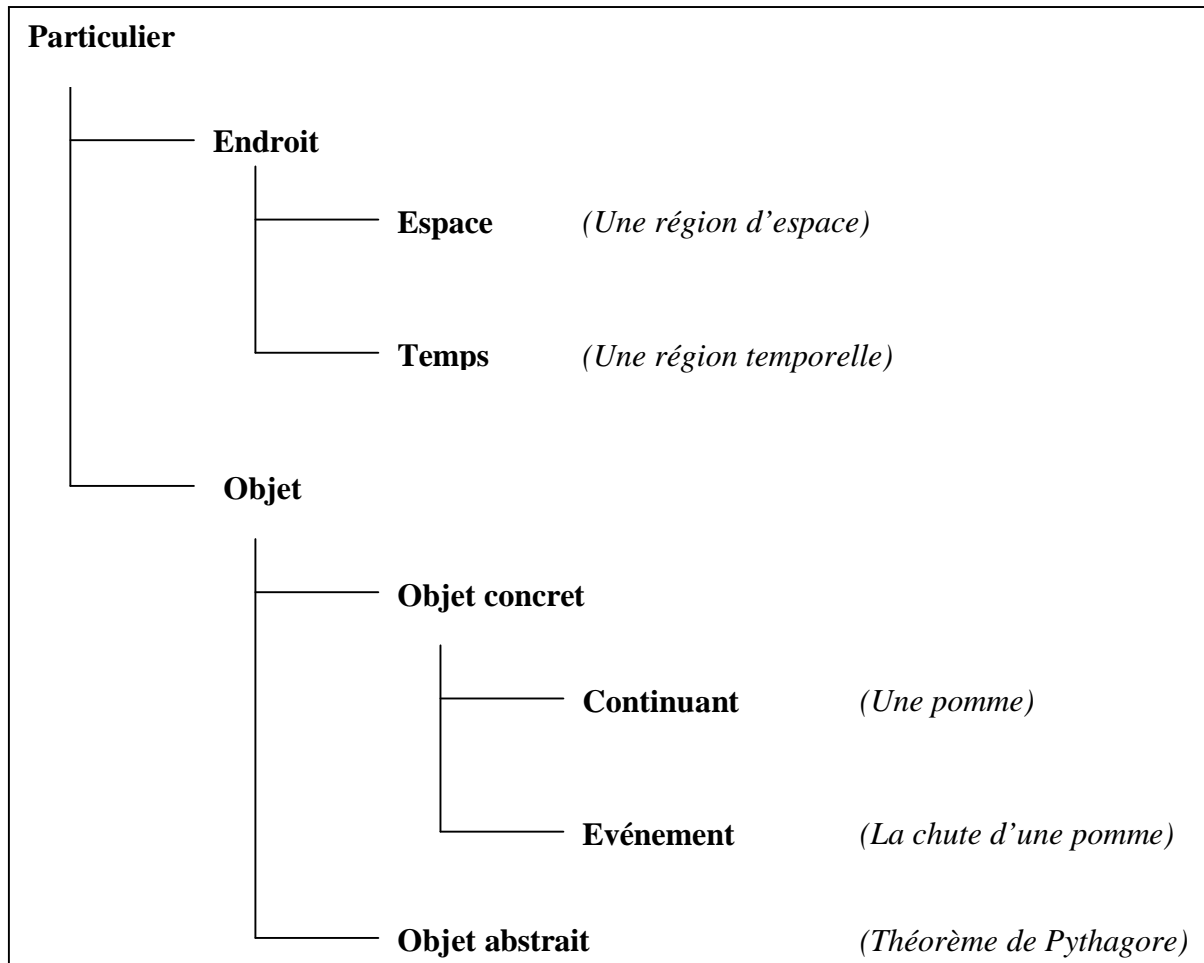


Figure 4.2 : Partie supérieure de toute taxonomie respectant les critères d'identité et le principe de Lowe. [Web 10]

Les méta-propriétés associées à l'identité sont la rigidité et le fait de définir ou de porter un critère d'identité. Un concept **C** est noté **+R** s'il est rigide, **-R** s'il est non-rigide, et **~R** s'il est anti-rigide. De même, il est noté **+O** s'il possède un critère d'identité, et **+I** s'il le porte. Un concept portant un critère d'identité est aussi appelé *sortal*.

Les définitions liées à la rigidité sont formalisées grâce à l'opérateur de nécessité 2 des logiques modales, qui signifie que la proposition à laquelle il s'applique est vraie dans tous les mondes possibles. Par exemple, **Person** est généralement considérée comme rigide car si **x** est une instance de **Person**, **x** doit être une instance de **Person** dans tous les mondes possibles. En revanche, un individu qui est une instance de **Student** dans un monde ne l'est pas nécessairement dans un autre, et **Student** est non-rigide. En fait, ce n'est même jamais le cas, et c'est pour cela que l'anti-rigidité a été introduite.

On remarque que **+O** implique **+I** et **+R**, et que **~R** implique **-R**. De plus, la méta-propriété de rigidité n'est pas nécessairement ((héritée)) : on peut par exemple attribuer à **Person** les méta-proprietés **+O+I+R** (le critère d'identité étant par exemple le numéro de sécurité sociale), et à **Student** les méta-proprietés **+I~R**.

Définition 8 Un concept C est rigide (**+R**) si et seulement si il est essentiel à toutes ses instances, c'est-à-dire : $\forall x C(x) \Rightarrow C(x)$

Définition 9 Un concept C est non-rigide (**-R**) si et seulement si il n'est pas essentiel à certaines de ses instances, c'est-à-dire : $\exists x C(x) \wedge \neg C(x)$

Définition 10 Un concept C est anti-rigide (**~R**) si et seulement si il n'est pas essentiel à toutes ses instances, c'est-à-dire : $\exists x C(x) \Rightarrow \neg C(x)$

Définition 11 Un concept C possède un critère d'identité (**+O**) si et seulement si i) il est rigide, ii) il existe un critère d'identité nécessaire ou suffisant, et iii) ce critère d'identité n'est pas porté par tous les concepts qui subsument C

- **Unité** : l'unité permet de distinguer les parties d'une instance du reste du monde. Un concept qui porte une condition d'unité est noté **+U**, et **-U** sinon; **~U** s'il porte l'anti-unité. On remarque que **-U** implique **~U**. Les portions de matière sont des exemples typiques d'anti-unité.

Définition 12 Un concept C porte un critère d'identité (**+I**) si et seulement si il est subsumé par un concept qui le fournit

Définition 13 Un objet x est un tout selon la relation ω si et seulement si ω est une relation d'équivalence telle que toutes les parties de x et seulement elles soient liées par ω

Définition 14 Un concept C porte une condition d'unité (**+U**) si et seulement si il existe une seule relation d'équivalence ω telle que toute instance de C est un tout selon ω

Définition 15 Un concept C porte l'anti-unité (**~U**) si et seulement si aucune de ses instances n'est un tout

- **Essence** : l'essence assure la conservation de l'identité à travers les changements temporels.

On peut considérer que quelqu'un conserve son identité si on l'ampute de la main (ou s'il perd ses cheveux), mais pas si on lui enlève le cerveau.

- **Dépendance ontologique** : Enfin, la dépendance ontologique représente les conditions nécessaires à l'existence d'une instance.

Définition 16 Un concept C dépend rigidement d'un concept D (**+D**) si et seulement si pour toute instance x de C , il existe nécessairement une instance y de D

Les dépendances extrinsèques font intervenir d'autres instances qui ne sont ni des parties, ni des constituants de l'instance dépendante. Les dépendances intrinsèques sont inhérentes à l'individu. Ces dépendances portent sur les relations de composition.

Ces propriétés fournissent les principes pour structurer une ontologie. Par exemple, l'identité d'un ensemble de briques change si on enlève une brique. Par contre, l'identité d'un bâtiment constitué de ces briques ne change pas s'il perd une brique. Le tas de briques et le bâtiment ont donc des critères d'identité différents, sur lesquels on peut se baser objectivement d'une part pour les distinguer et d'autre part pour déterminer leur position parmi les autres concepts.

Huit sortes de concepts peuvent être caractérisés par ces méta-propriétés, dont en particulier les types et les catégories. **Nowak** et **Raban** étendent les travaux de **Guarino** et **Welty** en les considérant du point de vue de la théorie des ordres.

Ils s'intéressent en particulier à l'héritage des propriétés précédentes, et montrent que l'identité, la dépendance et l'anti-rigidité sont héritées, mais pas la rigidité.

Un type : correspond à un concept rigide fournissant un critère d'identité (**+R+O**).

Cette caractéristique lui permet de jouer un rôle important dans l'organisation des taxonomies. De plus, le principe de **Lowe** implique que si chaque type a un ensemble propre de critères d'identité, une taxonomie de types a une structure d'arbres.

Une catégorie : correspond à un concept rigide mais qui ne porte pas de critère d'identité spécifique (**+R-I**). Elle ne peut donc pas être subsumée par un type (sinon, elle porterait aussi un critère d'identité). Les catégories interviennent donc uniquement dans les plus hauts niveaux d'une taxonomie et ne servent qu'à clarifier les distinctions les plus générales.

4.3. Organisation sémantique

Principes de décomposition en sous-catégories Ils visent à fonder en outre la décomposition taxonomique sur des critères sémantiques.

L'approche aristotélicienne consiste à définir chaque concept par rapport à un concept plus général (*genera*), et à exprimer des caractéristiques (*differentia*) qui les distinguent des autres concepts de même niveau. Pour reprendre l'exemple du début de la section 4.1, un Herbivore est un type d'Animal qui se nourrit de végétaux. L'étude des catégories de niveau supérieur (*Top level categories*) consiste à déterminer les principales catégories qui divisent le monde.

Outre les implications sémantiques, il en ressort notamment que la stricte application du principe de décomposition en *genera* et *differentia* ne suffit pas. Il faut en plus conserver l'unité sémantique de la décomposition en se basant sur des critères homogènes.

- **Différentes relations taxonomiques** Sémantiquement, il est possible de distinguer plusieurs relations *est-un* selon les contraintes de la relation comme la couverture ou la partition.

La relation *est une instance de* se traduit souvent par « *est un* » dans le langage courant. Elle n'est cependant ni réflexive ni transitive, et n'est donc pas une vraie relation de subsomption.

Son emploi doit être soigneusement distingué de celui de la subsomption lorsque le modèle comporte des méta-classes, c'est-à-dire des classes dont les instances sont elles-mêmes des classes. Ainsi, Espèce est une méta-classe dont une instance est la classe.

La relation *est un sous-ensemble de* est le sens le plus courant. Si on reprend la distinction de **Rosse** entre connaissances canoniques et connaissances instanciées, il est clair que le lien entre les deux fait appel à la relation *est une instance de*. En revanche, la spécialisation à l'intérieur des connaissances canoniques est la subsomption.

- **Taxonomies orthogonales** Afin de préserver l'unité sémantique des décompositions taxonomiques, et de ne pas mélanger les différents types de relation *est un*, il est souhaitable de ne pas permettre l'héritage multiple, et de structurer chaque hiérarchie selon un seul type de *est un* et un seul type de *differentia*. Les hiérarchies sont qualifiées de hiérarchies orthogonales car les changements dans la structure de l'une d'entre elles n'a pas de répercussion sur celles des autres.

Rector en fait un des quatre points indispensables afin de concilier une formalisation rigoureuse avec les besoins de différentes applications. Les taxonomies forment la colonne vertébrale des ontologies, en en imposant la structure principale.

Il est donc particulièrement important de respecter des principes de modélisation rigoureux portant sur la structure, la sémantique et respectant la nature ontologique des concepts et des relations.

Conclusion

La notion d'ontologie est devenue un élément clé dans toute une gamme d'applications faisant appel à des connaissances. Comme la conceptualisation des objets reconnus comme existant dans un domaine, de leurs propriétés et des relations les reliant, est ainsi définie une ontologie. Sa structure permet de représenter les connaissances d'un domaine sous un format informatique en vue de les rendre utilisables pour différentes applications. Cette réutilisation, en pratique difficile, est limitée mais possible à condition que les principes de constitution de l'ontologie soient fondés et parfaitement clairs.

Dans la taxonomie, le vocabulaire contrôlé est organisé sous une forme hiérarchique. Elle est une étape importante de l'ontologie. Son application dans le domaine de l'AMDEC, nous permettra de pouvoir générer des AMDECs cohérentes et permettre leur mise à jour. Certaines notions seront utilisées dans le chapitre suivant.

Chapitre V

Réalisation de l'AMDEC basant sur la taxonomie

Introduction

Nous allons décrire notre approche dans ce présent chapitre. Cette approche est inspirée du projet WIFA²¹. Les buts de ce projet étaient en premier lieu d'améliorer la complétude, la compréhension et la cohérence d'une AMDEC et améliorer ainsi sa maintenance et sa réutilisation. En deuxième lieu, améliorer la communication et la circulation d'information entre différents départements d'une compagnie où les connaissances devraient circuler (exemple : constructeurs – clients), le troisième objectif de ce projet est de réduire le temps de réalisation des AMDECs. Tous ces buts ne pourraient être atteints sans mettre en place un processus de simplification d'accès aux différentes connaissances de l'entreprise. Ceci inclus entre autre l'intégration d'un filtre d'informations pour en réduire la quantité présentée à l'utilisateur qui travaille sur une tâche bien spécifique.

Quelques outils seront présentés, nous aidant ainsi à la réalisation de notre taxonomie en tant que base de connaissance au fur et à mesure des générations d'AMDECs sur les systèmes.

En fin nous présenterons un « modèle checking », permettant la vérification de la cohérence des AMDECs.

1. Approche basée sur les taxonomies [Art 1]

La compréhension va être améliorée en contrôlant le vocabulaire, en encourageant les analystes et les ingénieurs à être le plus précis possible en adoptant une rigueur sémantique et en rendant toutes les informations explicites. Un vocabulaire contrôlé facilitera largement le transfert et la circulation des connaissances entre les différentes structures d'une entreprise. La cohérence et la complétude seront quant à elles assurées par une sémantique fournie dans la base de connaissances, par exemple, sur les systèmes, les fonctions, les défaillances. Ajouter à cela la possibilité de réutilisation d'AMDEC déjà existante. Ainsi, d'anciennes analyses peuvent être récupérées et réutilisées.

1.1. Structure de la base de connaissances

Dans ce qui suit, une description de la base des connaissances sera décrite. Les informations sont structurées en deux sous-ensembles, l'un englobe les cas d'anciennes AMDECs, l'autre regroupe les informations concernant la sémantique des données contenues dans la base.

1.2. Ensemble d'anciennes AMDECs

Contient l'ensemble d'anciennes AMDECs faites par les analystes dans la même compagnie. Chaque cas d'AMDEC regroupe des éléments de systèmes et fonctions indexés à partir de la base contenant les règles sémantiques.

1.3. Ensemble des connaissances (règles) sémantiques

Les connaissances sémantiques sont hiérarchiquement organisées sous forme de taxonomies. Une taxonomie est une hiérarchie de types, dans laquelle des types bien spécifiques sont liées avec des types globaux, formant ainsi une arborescence.

²¹ Acronyme allemand de « AMDEC basées sur une base de connaissances »

Les connaissances sémantiques servent, d'aide pour les cas d'AMDECs, d'abstraction de cas ou encore de standardisation de terminologies. Cette base contient différentes taxonomies dont celle de système, de flux d'information et de fonction.

Le schéma suivant montre la conduite d'une AMDEC.

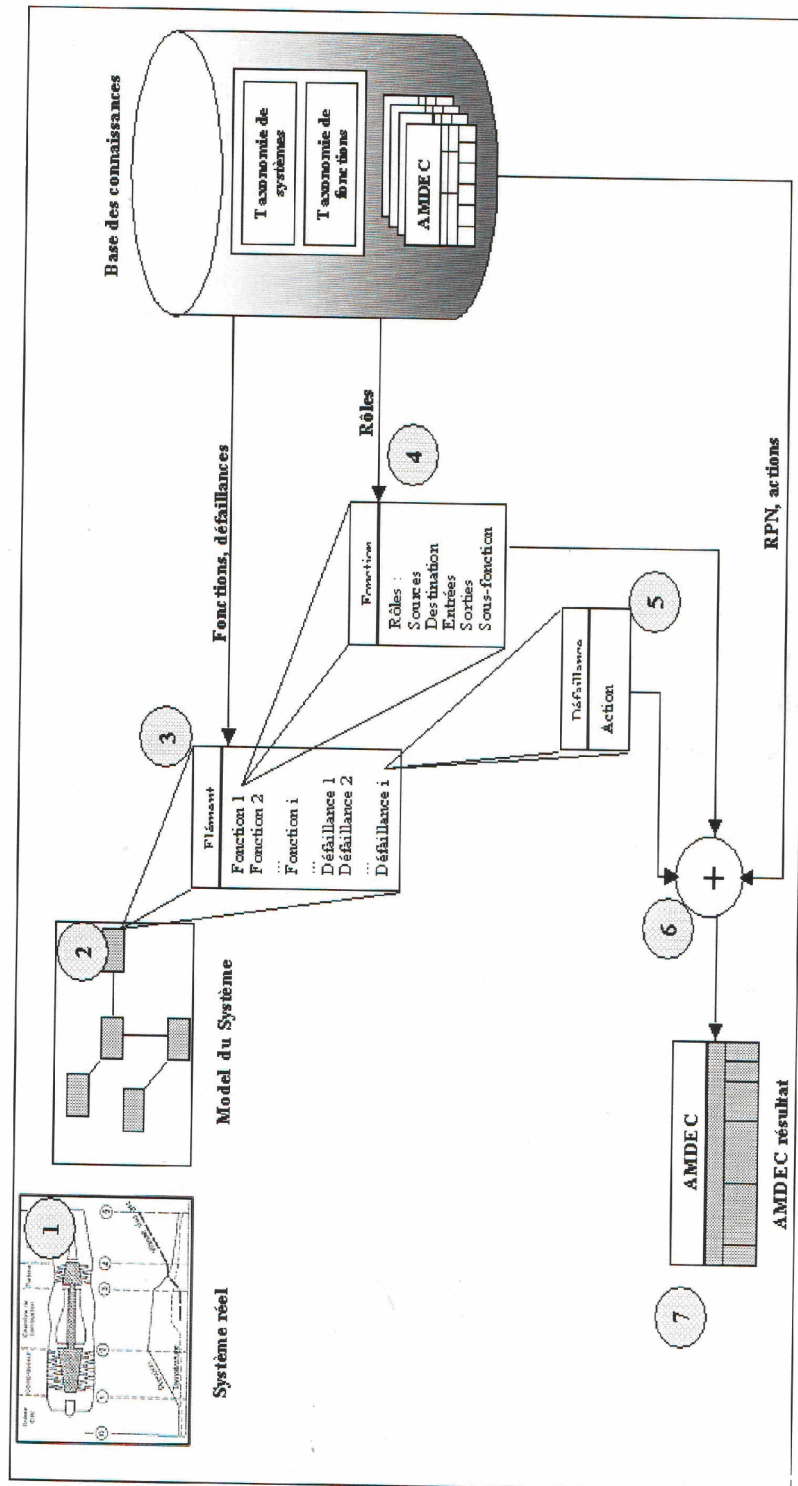


Figure 5.1 : Conduite d'une AMDEC. [Art 1]

2. Taxonomies des systèmes

Tous les éléments d'un système sont considérés comme importants pour sa taxonomie. Cette taxonomie est organisée en une hiérarchie de subsumption de types système, identifiés par un nom, une description, un catalogue pour les défaillances possibles et une liste de types fonctions que ce dernier peut réaliser. On note qu'un type de fonction n'est que seulement une indication pour correspondre une description dans la taxonomie de fonction. L'exemple suivant illustre une taxonomie de systèmes.

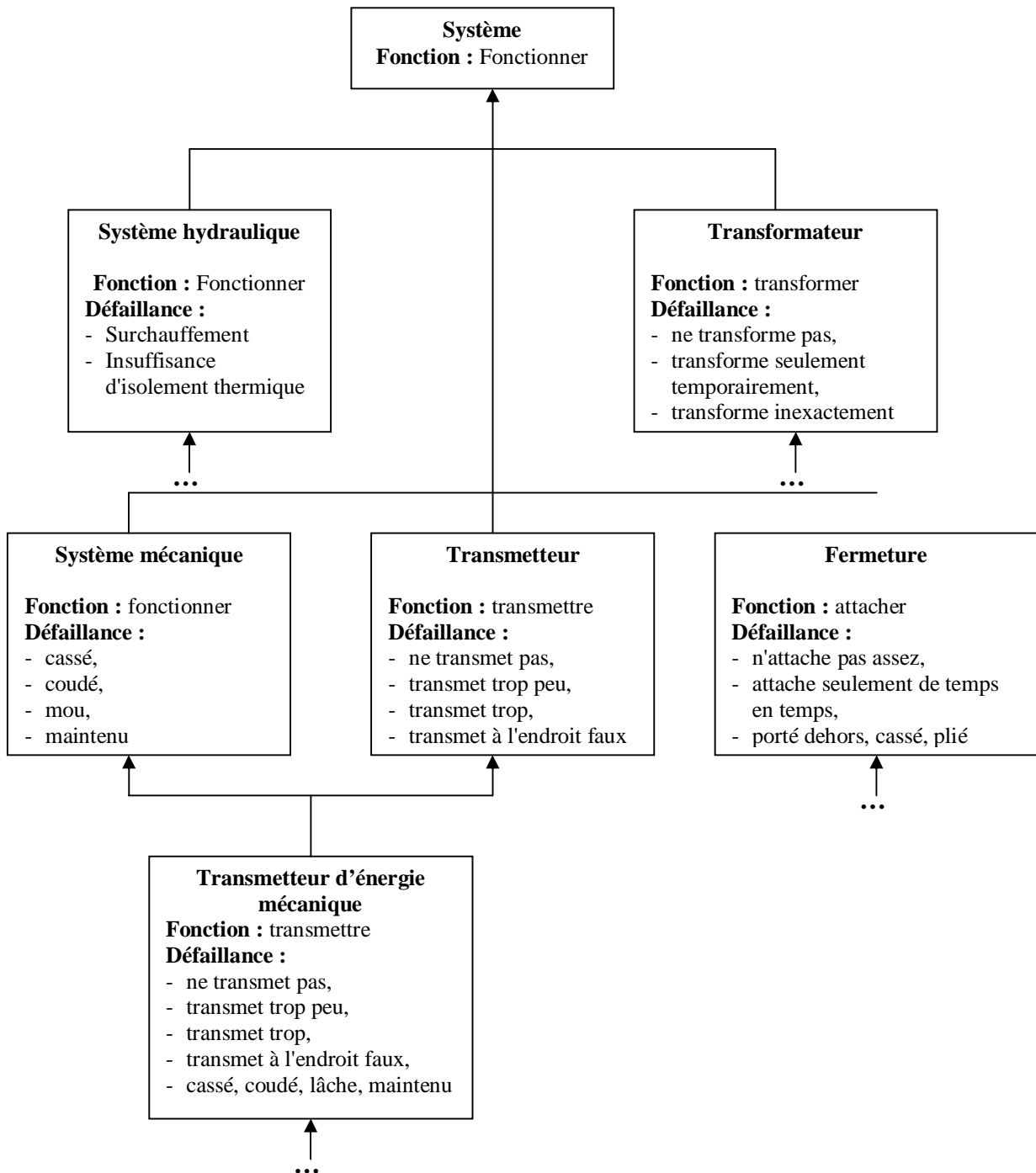


Figure 5.2 : Exemple de taxonomie de systèmes. [Art 1]

3. Taxonomie des fonctions

Selon **Roth**, **Pahl** et **Beitz**, les fonctions peuvent être caractérisées par les manières qu'elles manoeuvrent trois flux : matériel, énergie ou signal. Il y a des fonctions pour stocker ou transmettre des flux, pour transformer un flux en d'autres, pour changer les quantités des flux, ainsi de suite. Les flux forment la base primaire d'ontologie pour les définitions des fonctions. Cependant, toutes les fonctions ne peuvent pas suffisamment être décrites avec des flux, par exemple : *fixer*. Par conséquent, Wifa permet également à des fonctions d'être décrites sans flux.

Cette taxonomie a été inspirée d'études sur la conception industrielle, elle contient environ 220 verbes. **Roth** affirme que toutes les fonctions possibles d'un système physique peuvent être décrites uniquement à l'aide de ces verbes. Par exemple, *transformer* est l'un de ces verbes et signifie de saisir la transformation de n'importe quel flux en d'autres. **Roth** fournit seulement la description générale qui peut être faite plus précisément en indiquant les flux compliqués dans une situation concrète. Plus de descriptions précises comme *transformer-électro-magnétiquement* étaient ajoutées explicitement à la taxonomie. De cette façon un ingénieur peut choisir la description la plus spécifique qui s'adapte à la situation. Des contraintes liées aux descriptions des fonctions peuvent être exploitées pour le type de vérification et de production d'attribut différents.

Puisqu'il y a un intérêt pour l'analyse de défaillance, les réalisations des fonctions doivent être prises en considération. Finalement les causes des défaillances sont détectées dans les systèmes réalisant les fonctions. Donc, les interactions des fonctions avec des systèmes doivent être considérées.

Un type de fonction est caractérisé par un nom, une définition en langage naturel, un catalogue de modes de défaillances potentiels et une liste de types de systèmes compatibles. La taxonomie des fonctions est organisée, elle aussi, en une hiérarchie où les sous-types héritent des caractéristiques de leurs parents.

Il est possible (et recommandé) d'indiquer *le type de restrictions* pour des rôles intéressants. Un type de restriction est indiqué par un ou plusieurs types de système ou de flux. Un type de restriction a deux objectifs : Premièrement, il soutient la cohérence en empêchant un utilisateur d'entrer des informations contradictoires (incohérentes). Deuxièmement, c'est un bon filtre de l'information, par exemple, lors de l'élaboration de la liste de sélection pour des valeurs possibles de rôle.

Le super-type et le sous-type diffèrent seulement dans leurs noms. Une raison est que les utilisateurs conviennent qu'il y a des différences mais à raison de différents rôles et de types de restrictions ils ne peuvent pas préciser cette différence à ce moment.

Actuellement, un type de fonction ne peut pas multiplier l'information héritée, c'est-à-dire, il ne peut pas avoir plus d'un super-type. Particulièrement quand les fonctions spécifiques sont définies, des contradictions peuvent survenir parmi des fonctions participantes, c.-à-d., différents rôles et différents types de restrictions.

Il y a une relation étroite entre la taxonomie de fonction et la taxonomie de système. Pour chaque fonction il y a un système correspondant qui réalise cette fonction. Par exemple, le type de fonction *transformer* correspond au type de système *transformateur*. Il y a également des types de système qui ne correspondent pas seulement à une fonction. Ces types de système doivent rester fonctionnellement significatifs c'est-à-dire, le type de système dans l'ensemble doit réaliser une ou plusieurs fonctions. La figure suivante illustre un exemple de taxonomie de fonctions.

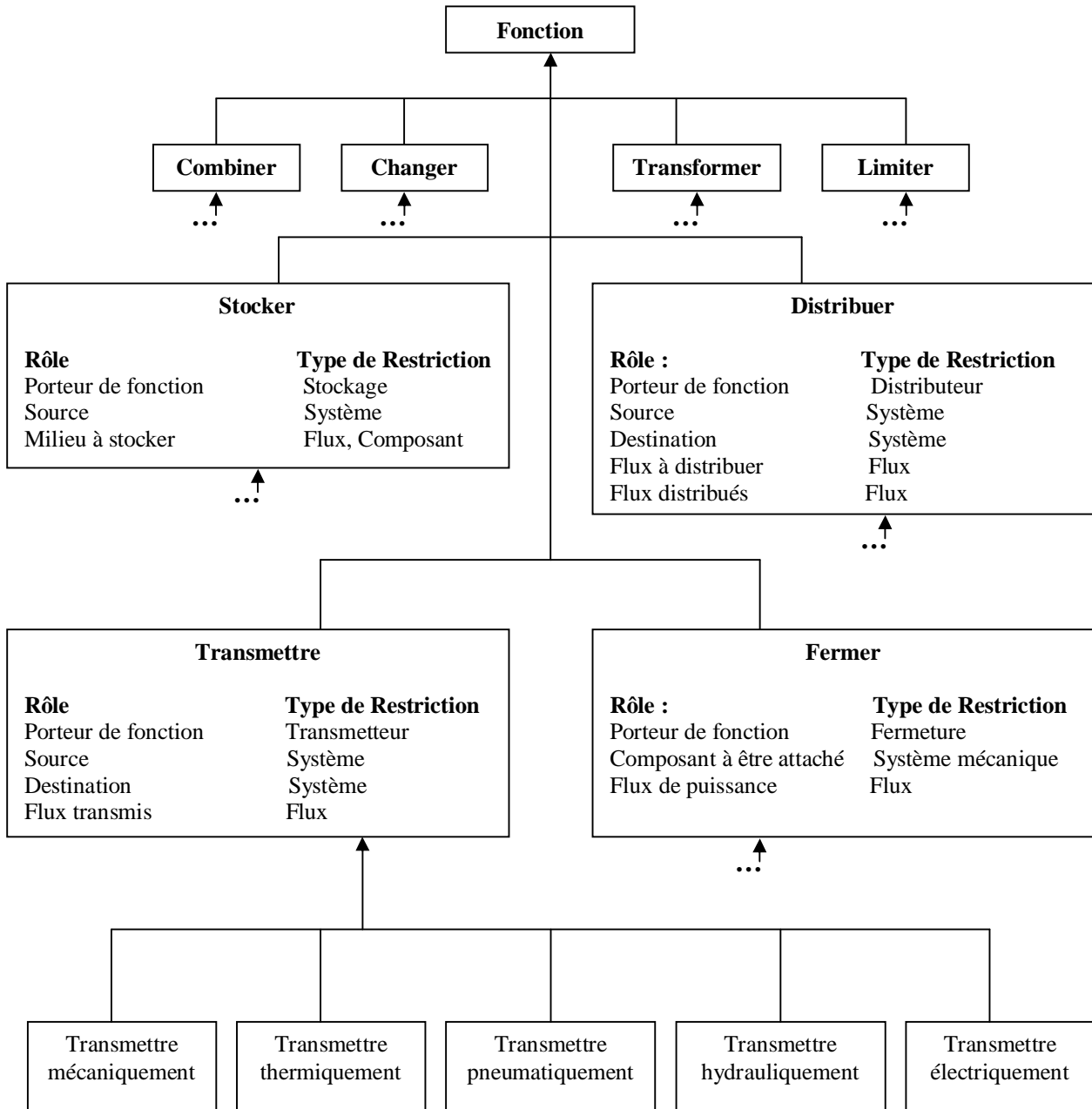


Figure 5.3 : Exemple de taxonomie de fonctions. [Art 1]

Comme cité ci-dessus, la taxonomie des fonctions peut être organisée sous forme d'une hiérarchie ou d'un arbre. La taxonomie modélisée par **Roth** contient un élément racine nommé « *Fonction* » et un ensemble de sous fonctions qui sont des descendants directs de l'élément racine et qui sont : la fonction « *Transformer* » « *Conduire* » « *Changer* » « *stocker* » et enfin la fonction « *Combiner* ».

4. Taxonomie des modes de défaillances

Les modes de défaillances sont aussi classifiés d'une telle manière à avoir une relation entre un dysfonctionnement et ses effets, contrôles et causes. La taxonomie des modes de défaillances est mise en œuvre d'une manière similaire à celle des fonctions et systèmes, elle est modélisée par un arbre où l'élément racine est un mode de défaillance fictif ayant le label « *Défaillances* », les autres éléments représentent des types de défaillances qui sont caractérisés par une définition en langage naturel et une liste d'effets, de causes et de contrôles.

La figure suivante illustre un exemple de taxonomie de défaillances.

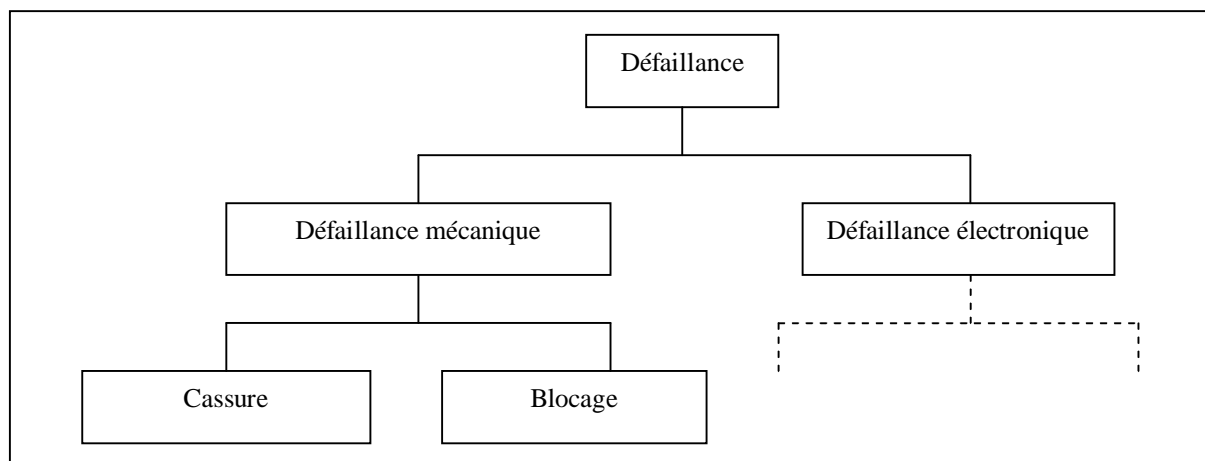


Figure 5.4 : Exemple de taxonomie de modes de défaillances. [OUH 2005]

Comme cité ci-dessus, à chaque mode de défaillance correspond un ou plusieurs effets, une ou plusieurs causes et un ou plusieurs contrôles.

5. Relations entre types de taxonomies

Une ferme relation existe entre la taxonomie des systèmes, celles des fonctions et défaillances. Ainsi chaque système réalise un ensemble de fonctions et chaque fonction est achevée par un système, par exemple : la fonction « *Transformer* » est achevée par le système « *Transformateur* » et le « *Transformateur* » peut réaliser de multiples fonctions dont « *Transformer* ».

Une fonction peut avoir plusieurs modes de défaillances et un mode de défaillances peut appartenir à une ou plusieurs fonctions.

La figure suivante résume les concepts et les relations existantes entre la taxonomie des systèmes et celles des fonctions.

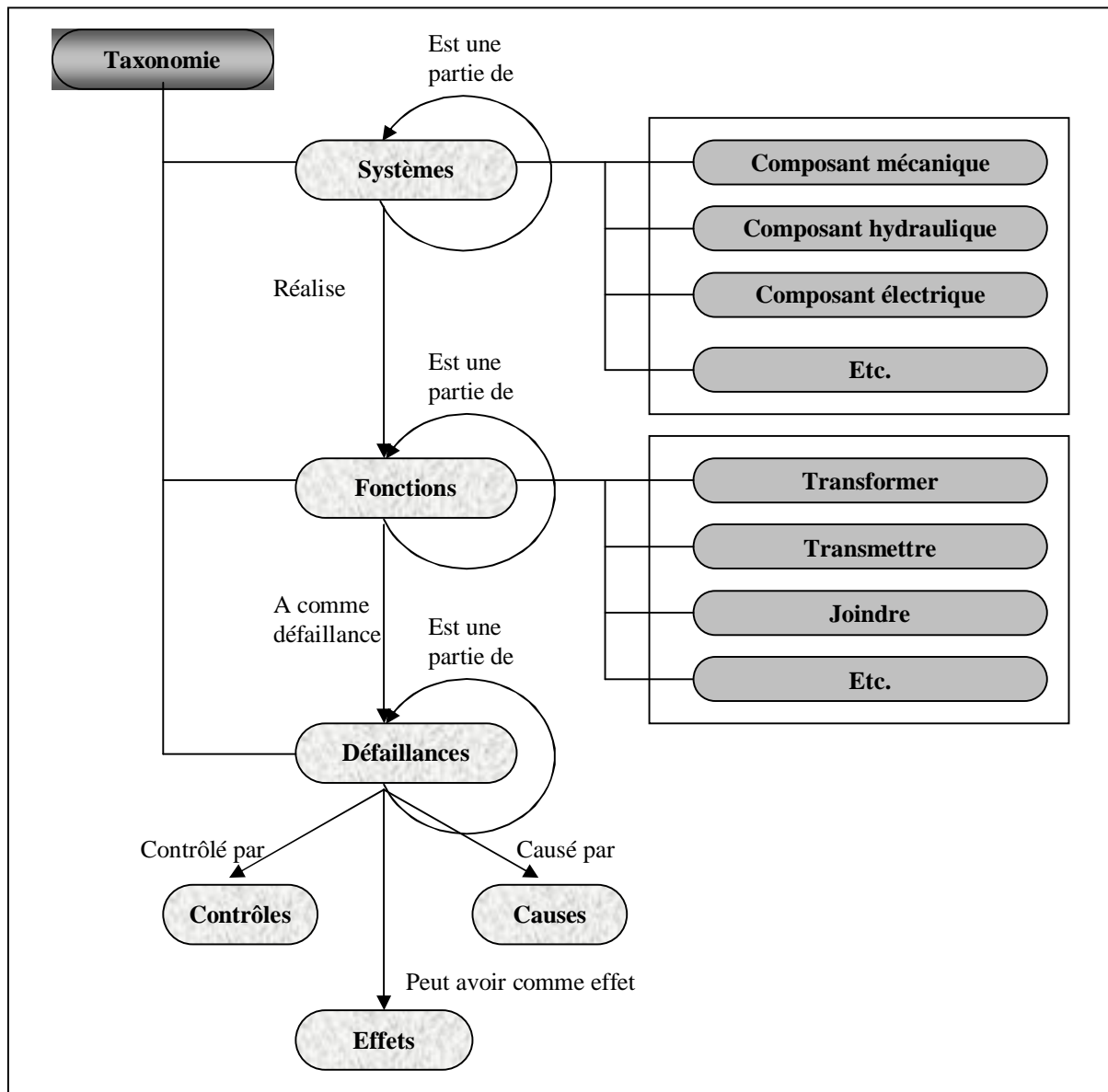


Figure 5.5 : Relations entre types de taxonomies. [Art 3]

Cette figure illustre les relations entre les systèmes, qui peuvent être comme définie précédemment, des systèmes complets, des sous-systèmes ou un élément indivisible d'un système (Composant).

Chaque instance du composant « Systèmes » peut inclure une relation du type « Est une partie de » avec un autre système, cette association explique par exemple le fait qu'un système peut être un sous-système d'un autre. La relation « Réalise » exprime quant à elle la possibilité pour un système de réaliser une ou plusieurs fonctions.

Quant à l'objet « *Fonctions* », il décrit une tâche qu'un composant peut faire. Chaque fonction peut être une partie d'une autre. Ainsi, une fonction réalisée en combinant plusieurs fonctions peut facilement être modélisée. La relation « *A comme défaillance* » entre les objets « *Fonctions* » et « *Défaillances* » exprime la possibilité d'une ou plusieurs défaillances d'une fonction.

Similaire aux deux objets précédemment décrits (Systèmes et fonctions). L'objet « *Défaillances* » est lui aussi muni d'une relation « *Est une partie de* » qui modélise le fait qu'une défaillance peut être décomposée en plusieurs modes de défaillances.

Etant donné qu'à une défaillance correspond au moins une cause, un effet et un contrôle, le schéma que nous avons proposé devait inclure des objets pour modéliser ces entités et des relations les liants avec les modes de défaillances.

Il est à noter que toutes les relations sont bidirectionnelles et peuvent être lues dans le sens inverse. Ainsi la relation : Un système A réalise une fonction F peut être lue : la fonction F est réalisée par le système A.

6. Instances de taxonomies

Les instances de taxonomies représentent les connaissances concrètes d'AMDECs. Comme mentionné précédemment, les données d'AMDECs sont classifiées en différents types, chaque type à une correspondance dans la taxonomie d'une façon à ce que les connaissances des ingénieurs et analystes y soient directement transférées.

Dans la figure suivante, quelques exemples d'instances de taxonomies sont modélisés pour représenter des connaissances d'une AMDEC. Chaque instance à un identifiant unique, son label, qui la rend accessible.

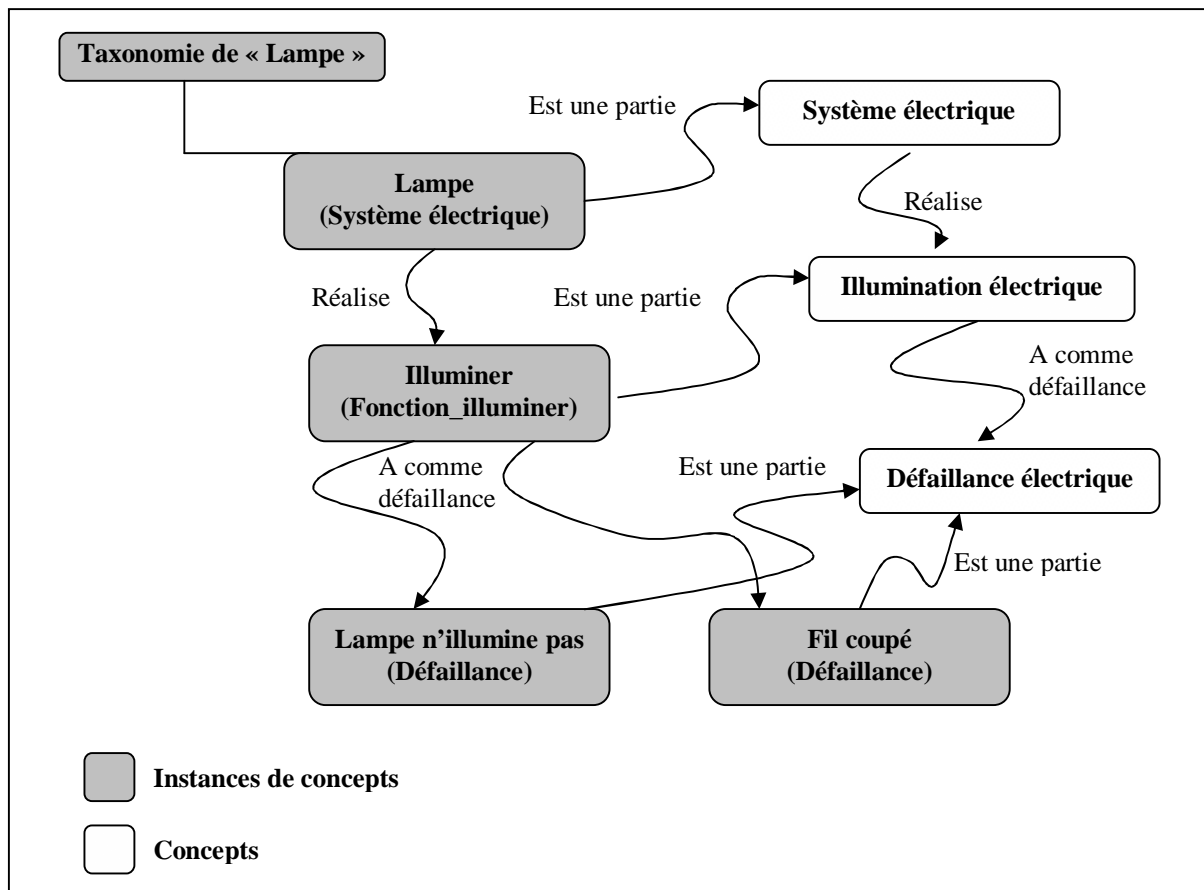


Figure 5.6 : Exemple d'instance de taxonomie. [Art 3]

Dans cet exemple, une taxonomie sur une lampe électrique est faite. Une instance d'un système électrique est créée (la lampe) puis une des fonctions qu'un système électrique puisse faire est instanciée, il s'agit là de la fonction *illuminer*. Deux instances de défaillances électriques sont par la suite créées pour la fonction déjà citée.

Cette décomposition en taxonomie est assurée par l'utilisation de certains outils, que nous évoquerons dans les prochaines sections.

7. Modélisation des systèmes

Etant donné qu'une AMDEC démarre toujours à partir d'une modélisation fonctionnelle du système analysé, et afin de faciliter la tâche aux analystes, et de construire des AMDECs sur des modèles fiables, nous proposons la modélisation en Block diagrammes fonctionnels des systèmes.

7.1. Block diagrammes fonctionnels

Les blocks diagrammes fonctionnels illustrent les opérations, les relations et les interdépendances des entités fonctionnelles d'un système. Ils sont construits en conjonction avec la définition du système. Les blocks diagrammes fonctionnels doivent être construits d'une manière à faciliter et simplifier l'identification et le suivi des défaillances entre les différents composants du système. La figure suivante illustre un exemple de Block diagramme fonctionnel.

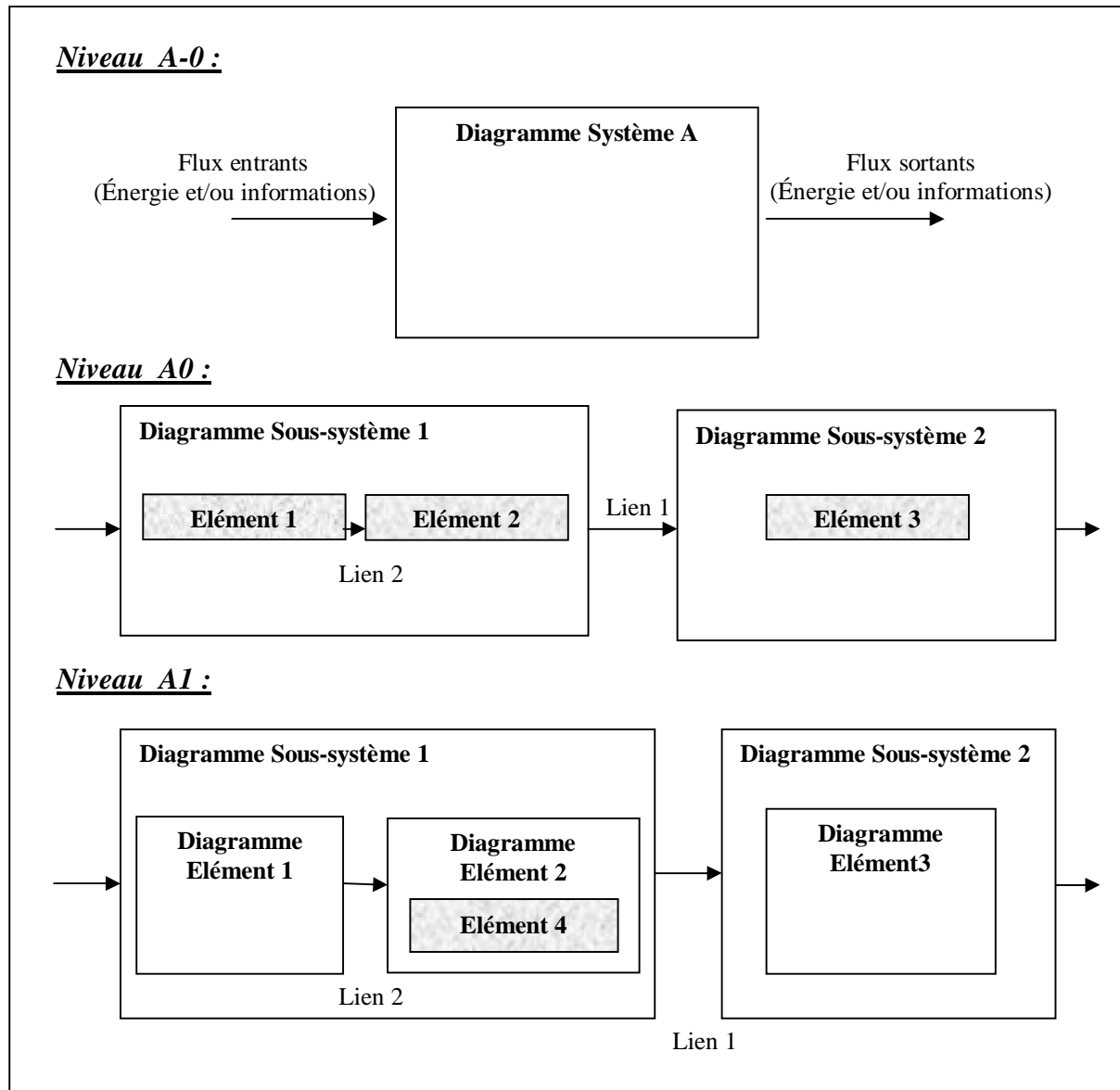


Figure 5.7 : Représentation de blocs diagrammes fonctionnels d'un système

Pour enrichir les modèles fonctionnels, pouvoir faire des diagrammes hiérarchiques en l'occurrence, la solution mise au point permet la constitution de modèles hiérarchiques. [OUH 2005]

7.2. Block diagrammes fonctionnels hiérarchiques

Dans la plus part des cas, l'analyse de systèmes complexes est une tâche fastidieuse à faire, les analystes utilisent alors la politique du *diviser pour régner*. Ils décomposent le système en sous-systèmes pour simplifier son étude et profiter au maximum des capacités des différentes équipes travaillant au niveau sous-système.

L'approche entreprise est la suivante : « *chaque block peut en capsuler un diagramme qui contiendra le détail de ce block* ».

La figure suivante illustre un système modélisé selon cette approche, le système en lui-même contient des sous systèmes qui eux contiennent des éléments.

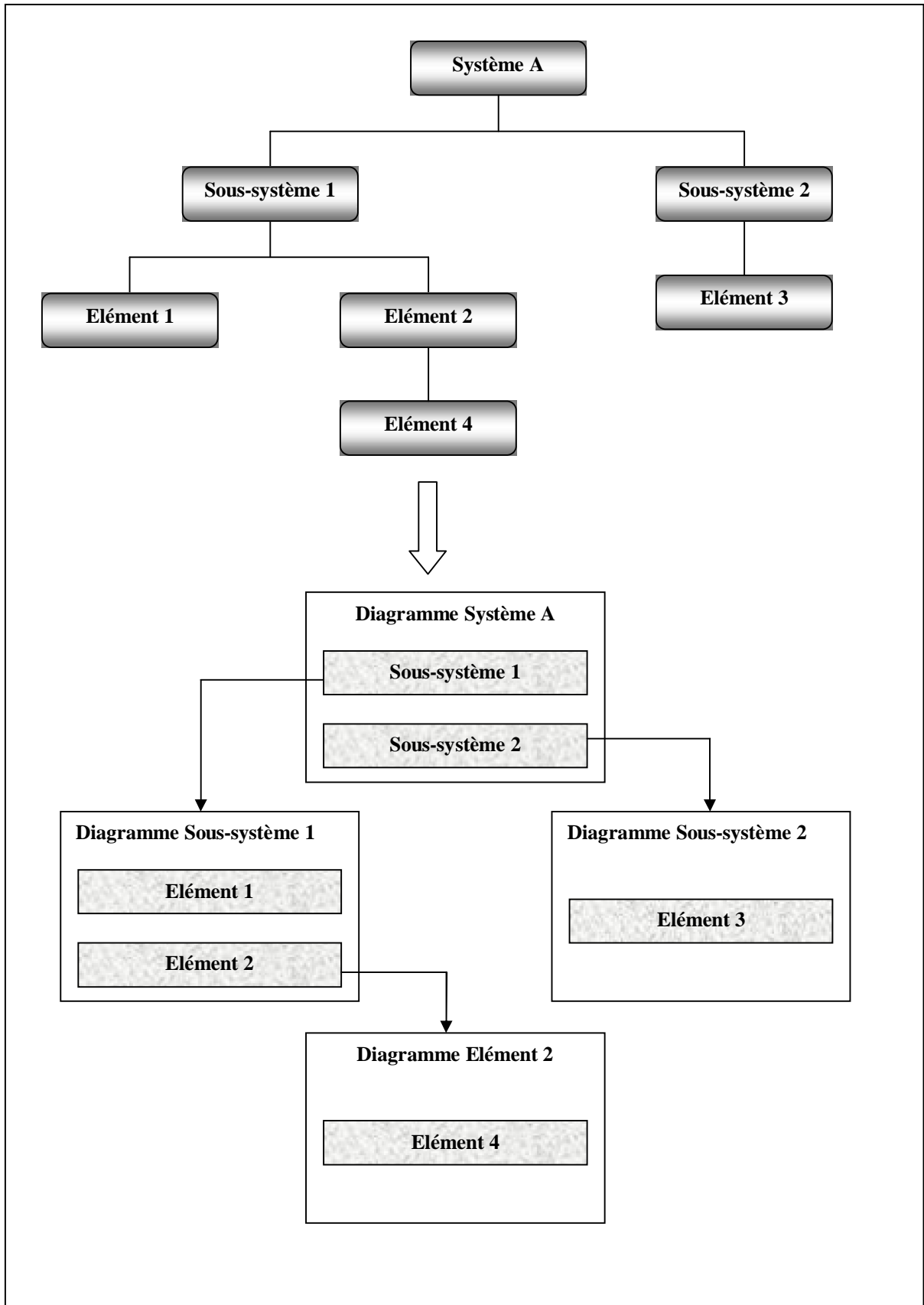


Figure 5.8 : Représentation d'un système hiérarchique. [OUH 2005]

8. Décomposition structurelle du système : outil de modélisation

Un système industriel est généralement constitué de plusieurs chaînes fonctionnelles. Leur recherche et leur organisation peuvent être appréhendées par l'utilisation d'un outil de modélisation appelé **SADT (Structured Analysis for Design and Technic)**

Principe de fonctionnement de l'outil :

La fonction globale est décomposée en fonctions composantes par niveaux successifs.

Le premier niveau est numéroté A-0. Il concerne la fonction globale.

Le second niveau est numéroté A0. Il fait apparaître les fonctions composantes associées aux différentes chaînes fonctionnelles.

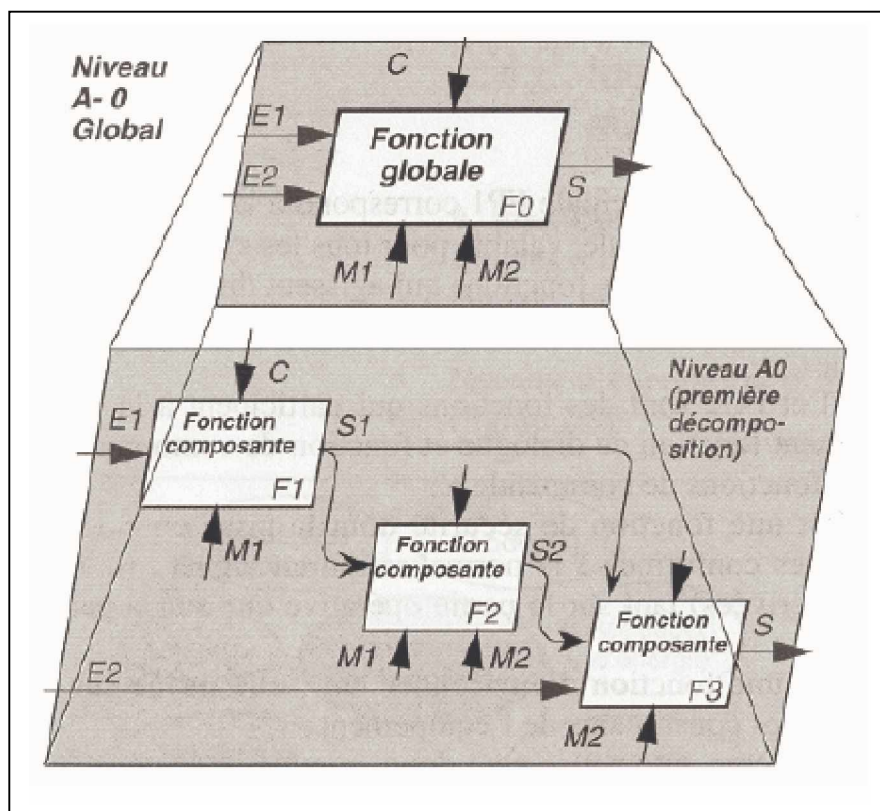


Figure 5.9 : Outil de modélisation SADT

Pour chaque fonction, on précise :

E : les entrées

S : les sorties

C : les données de contrôle (informations sur l'état du système, décision de l'opérateur, paramètres de configuration, etc.)

M : les moyens (matériels, logiciels, personnels)

Entre chaque fonction, des liens sont représentés.

La décomposition peut se poursuivre au sein de chaque chaîne fonctionnelle.

9. Recherche des fonctions de service d'un système - Méthode APTE

9.1. La bête à corne : recherche de la fonction globale

Cet outil (qui est un des éléments de la méthode APTE²²) définit le besoin auquel répond le système. Souvent les acteurs d'un projet privilégient des solutions déjà connues sans analyser concrètement le besoin qui justifie le projet.

Avant d'imposer un « comment » ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin.

Il convient donc d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement d'un projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la reconception d'un produit. [Web 4]

Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- A qui, à quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui, sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ? (pour quoi faire?)

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales. [Web 4]

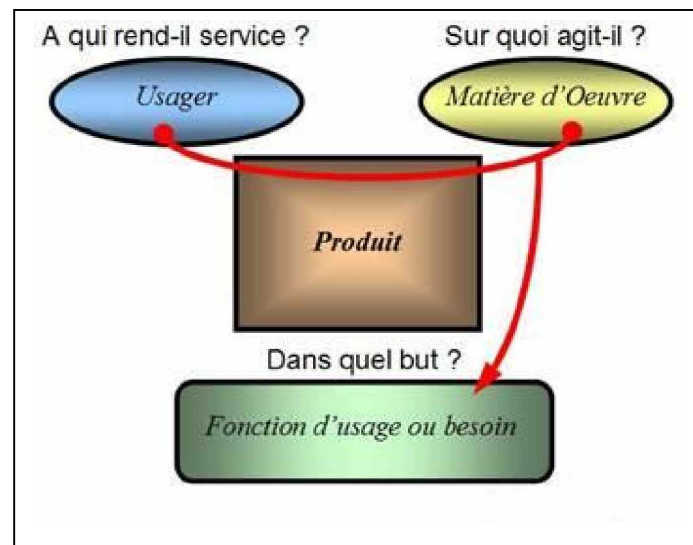


Figure 5.10 : La bête à cornes. [Web 11]

9.2. La pieuvre

Cet outil (issu de la méthode APTE) identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans *l'analyse fonctionnelle du besoin* (ou *analyse fonctionnelle externe*).

²² APplication aux Techniques d'Entreprise : méthode universelle pour la conduite d'un projet

- **Fonctions principales :** *Quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ?* Pour chaque phase de son cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation (extérieur à l'objet). Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale :

Une fonction principale est exprimée par deux milieux extérieurs et un verbe.

- **Fonctions contraintes :** *Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ?* Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu d'environnement. Le but de ces relations est appelé fonction de contrainte.

Une fonction de contrainte est exprimée par un milieu extérieur et un verbe. [Web 4]

Elles peuvent parvenir de façon différente :

- contrainte imposée par l'action d'un élément du milieu extérieur,
- contrainte d'interface avec un produit existant,
- exigence particulière (de l'utilisateur).

La méthode de recherche des fonctions proposée est simple et repose sur les principes suivants :

- dans chaque situation de sa vie, le futur produit ou système va se trouver en contact direct avec un élément extérieur. Il convient donc d'abord de déterminer tous les éléments extérieurs au produit qui seront en contact avec lui.
- chaque fois que le produit ou le système permet de mettre en relation deux éléments du milieu extérieur, il y a un service rendu. Donc, en prenant tous les éléments du milieu extérieur 2 par 2, chaque fois qu'il sera possible d'exprimer un service rendu « ça sert à X en agissant sur Y », il y aura une fonction principale.
- chaque fois qu'un élément du milieu extérieur exerce une action sur le système, il y a une fonction de contrainte.

L'ensemble des relations entre les fonctions et l'objet vont être représentées dans « *la pieuvre* » :

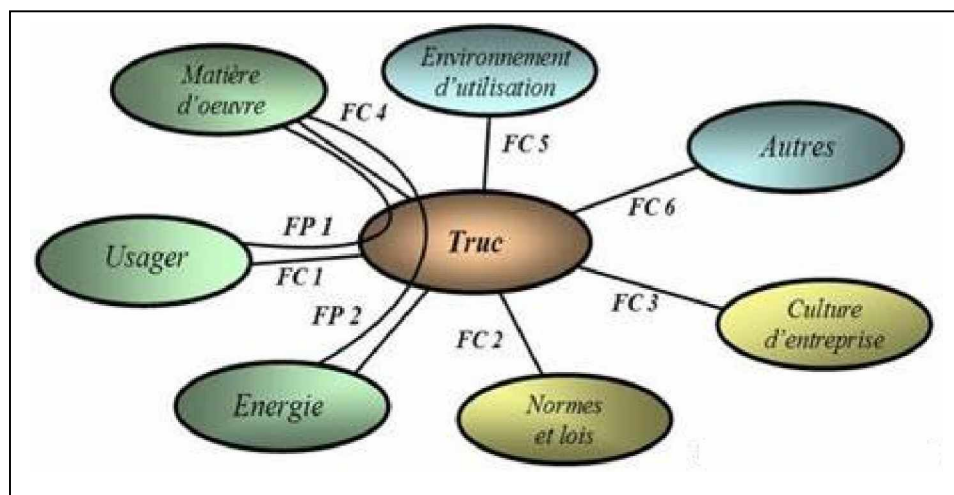


Figure 5.11 : Le diagramme pieuvre. [Web 11]

L'identification des fonctions est très importante dans la vie d'un projet. D'une part, elles reflètent la description du besoin. D'autre part, elles donneront des pistes d'orientation sur le choix des différents scénarios à analyser.

Il est important que la formulation de la fonction soit indépendante des solutions susceptibles de la réaliser.

La pieuvre est un excellent outil de représentation des fonctions et de leurs relations avec l'objet étudié. Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite. [Web 4]

10. Analyse

Etant donné qu'une défaillance arrive entre la cause et l'effet, les analystes ont des fois du mal à distinguer les défaillances des causes et des effets, car toute cause qui, elle-même, a une cause pourrait être un mode de défaillance. Et tout effet qui lui-même a un effet pourrait être aussi un mode de défaillance.

Il n'existe pas de niveau standard de décomposition du matériel, il est dès lors nécessaire de préciser le niveau de détail auquel on descend dans l'arborescence matérielle pour procéder à l'analyse. Pour cela, il faut se donner un nombre maximal de niveaux et surtout ne prendre qu'un niveau unique de référence comme l'illustre l'exemple sur la figure suivante.

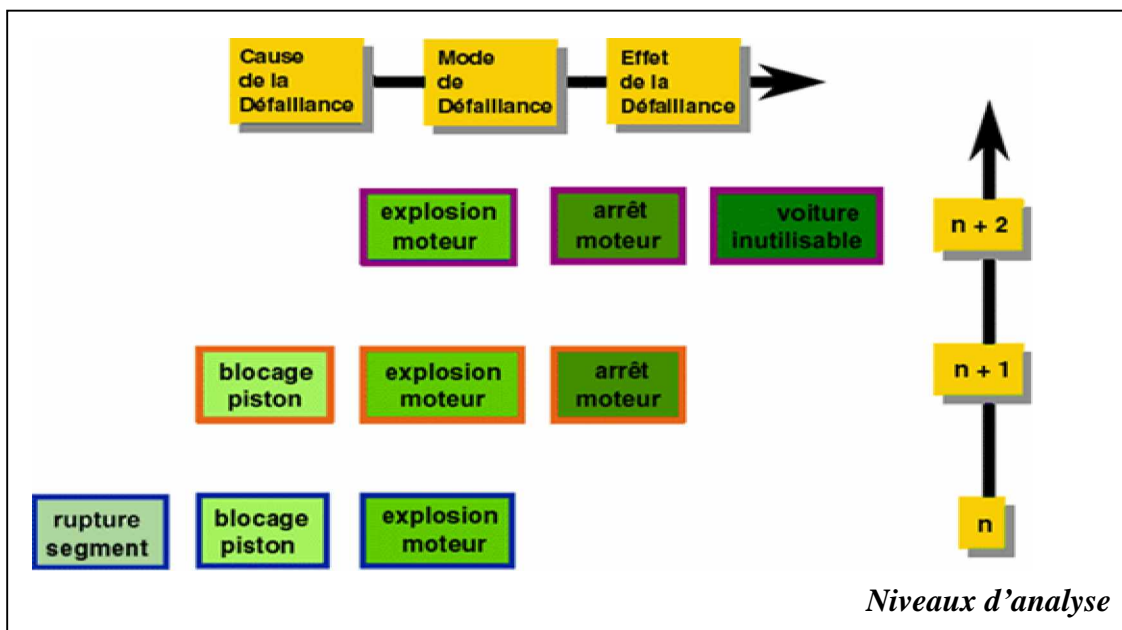


Figure 5.12 : Le contraste cause - mode de défaillance - effet

Après avoir choisi le niveau d'analyse, qui nous permet de distinguer les modes de défaillances des causes et des effets, nous identifierons tous les modes de défaillances de chaque fonction et nous chercherons leurs causes et leurs effets.

L'identification des modes de défaillance se fera en s'inspirant des cinq types de modes de défaillance²³.

²³ Voir chapitre II section 3

Exemple : Modes de défaillances pour la fonction « *Transformer le mouvement de rotation* »
Ses modes de défaillance à l'aide de 5 catégories sont les suivants :

- § Ne transforme pas le mouvement de rotation,
- § Transformation partielle du mouvement,
- § Transforme intempestivement le mouvement,
- § Transformation dépassant la limite attendue,
- § Transformation dégradante dans le temps.

L'analyse des causes peut être obtenues par le diagramme d'Ishikawa²⁴ qui permet de regrouper les causes selon leur nature.

A travers la présentation des différentes causes, selon le diagramme d'Ishikawa, peut nous aider à déterminer les actions à mener c'est-à-dire la cinquième étape de la mise en œuvre de l'AMDEC, en cherchant les origines de ces causes. Pour la réalisation de cette recherche, nous avons choisi d'appliquer la méthode de la ronde du pourquoi.

Cette méthode qui rappelle le jeu des petits enfants qui pose toujours la question (pourquoi ?) à une réponse :

- pourquoi le moteur s'est arrêté ? parce que le contacteur a disjoncté
- pourquoi le contacteur a disjoncté ? parce que l'intensité appelée par le moteur était trop élevée.
- Pourquoi cette intensité s'est brusquement élevée ? par ce qu'il y a eu un point dure mécanique.
- Pourquoi y a-t-il un point dur mécanique ? parce que le point le tapis c'est coincé.
- Pourquoi le tapis s'est-il subitement coincé ? parce qu'un rouleau s'est bloqué.
- Pourquoi le rouleau s'est-il bloqué ? parce qu'il manquait de graisse.
- Pourquoi manquait-il de graisse ? parce qu'on le graisse pas.
- Pourquoi ne le graisse-t-on pas ? parce que...

Et quand il n'est plus possible de répondre on est en général très proche de la bonne solution.

Cette méthode paraît toujours enfantine et simpliste mais elle a souvent donné d'excellents résultats à condition qu'on l'applique jusqu'au bout.

Selon le type d'AMDEC réalisé, la recherche des effets peut être faite parmi les types d'effets cités ci-dessous :

- **Effets locaux** sont les effets sur les composants du système qui assure la fonction défaillante ;
- **Effets sur les niveaux supérieurs** sont les effets sur les composants du système qui sont directement interfacés avec le composant défaillant ces effets sont aussi appelés Effets de zone ;
- **Effets globaux** sont les effets qui surviennent sur le système global et son environnement, ces derniers sont le résultat de la propagation des effets sur les niveaux supérieurs.

11. Le model checking des AMDECs [OUH 2005]

Le model checking est une technique de vérification automatique des systèmes informatiques (logiciels, circuits logiques, protocoles de communication). Il s'agit de tester

²⁴ Voir chapitre II section 3

algorithmiquement si un modèle donné, le système lui-même ou une abstraction du système satisfait une spécification logique.

Dans notre cas, le model checking d'AMDEC est une technique de vérification automatique d'analyse des modes de défaillances de leurs effets et criticités. Cette vérification est réalisée en faisant un contrôle du modèle fonctionnel du système. Ce contrôle vise à indiquer si cette abstraction (modèle fonctionnel) satisfait à des règles spécifiques dont nous parlerons dans les prochains paragraphes.

11.1. Nécessité de vérifier les AMDEC

Lors de l'édition ou la saisie des modèles fonctionnels, des erreurs peuvent être introduites dans le modèle sans que l'analyste ne le sache. Ces erreurs qui peuvent toucher à la fiabilité de l'AMDEC peuvent fausser les résultats de sorties. Ces erreurs peuvent avoir plusieurs origines, nous en citerons quelques unes :

- L'intégration de nouveaux composants : en effet, l'intégration de nouveaux composants dans le système objet d'analyse peut introduire des conflits, l'intégration peut être soit en usant de la réutilisation y compris la taxonomie, soit en créant un nouveau composant. La figure suivante illustre un exemple d'intégration d'un composant provoquant un conflit de modélisation.

D'après le principe de l'analyse fonctionnelle, une fonction générale est réalisée par une ou plusieurs fonctions élémentaires appelées aussi fonctions techniques. Ainsi dans la figure suivante, la fonction **F1** du composant **C1** est réalisée par les deux fonctions élémentaires **F2** de **C2** et **F3** de **C3**. En intégrant un nouveau composant **C1'** ayant une fonction **F1** (la même que la précédente) et en indiquant que ce dernier contribue à la réalisation de la fonction **F1** du composant **C1**, cette règle ne sera plus vérifiée, et il n'est guère évident de le remarquer dans le cas des systèmes très complexes.

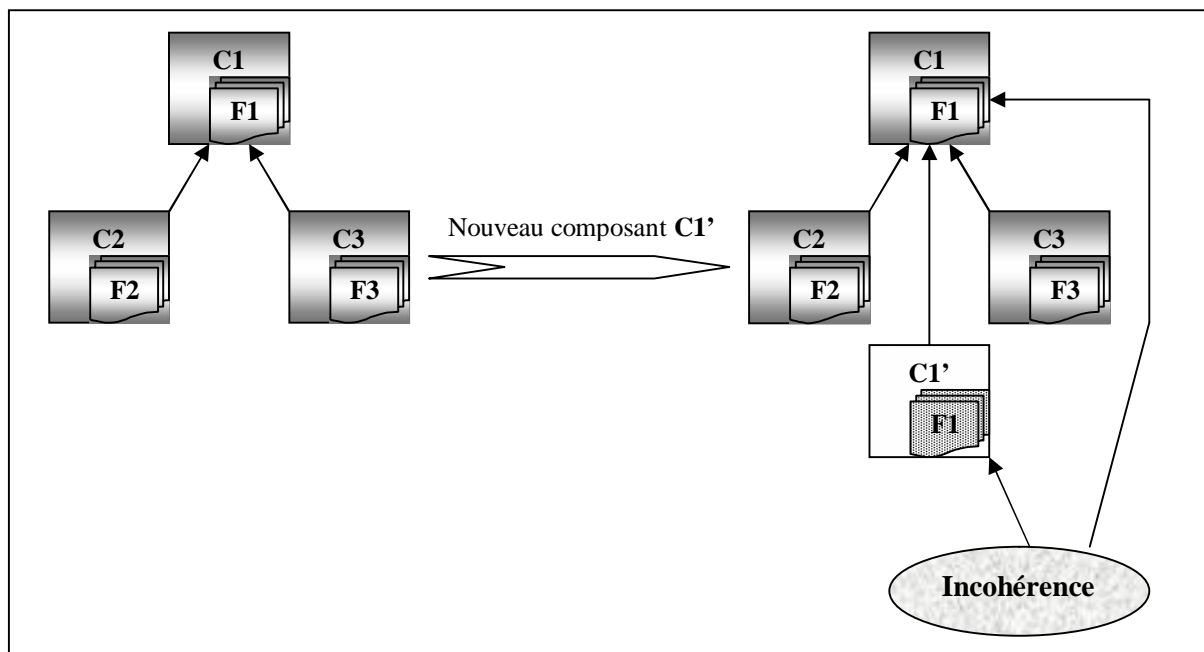


Figure 5.13 : Exemple d'intégration de composant touchant à la cohérence du modèle. [OUH 2005]

- **Suppression de composant** : la suppression de composant peut provoquer des incohérences dans l'AMDEC, l'exemple type est la définition d'une fonction à laquelle contribue un composant qui sera supprimé, avec / sans inattention, par la suite sans pour autant modifier la fonction en elle-même et spécifier que ce composant (supprimé) n'y contribue plus.

11.2. Règles de vérification

Alors, comment cette vérification se fait-elle ? La première étape consiste à appliquer aux données des « règles » (ou des facteurs dont il faut tenir compte). Ces règles résultent de l'expertise d'un spécialiste du domaine qui peut provenir de diverses sources. Le spécialiste peut être un analyste qui possède une vaste expérience du type de données vérifiées.

Les règles mise en place au cours de notre travail sont basées aussi sur la connaissance d'experts dans le domaine des analyses de risques et de fiabilité et qui connaissent parfaitement la démarche AMDEC.

Un simple exemple d'une règle de vérification :

- Soit le système **S** objet d'analyse.
- Soit **C** l'ensemble des composants du système **S**
- **c** un composant ayant une fonction **f**.
- **c'** un autre composant.
- Soit la relation binaire **R** qui exprime la contribution, ainsi : **c R f** peut être lu : le composant **c** contribue à la fonction **f**.
- Soit **R1** la relation binaire exprimant la réalisation : **f R1 c** se lit : le composant **c** réalise la fonction **f**.

Ainsi, une des règles à vérifier peut être exprimée :

$$c \in C \text{ et } c R1 f \text{ et } c' R f \implies c' \in C.$$

Figure 5.14 : Exemple d'une règle de vérification. [OUH 2005]

Cette exemple indique qu'un composant contributeur à une fonction doit exister parmi les composants du système, c'est-à-dire dans la structure ou modèle du système.

11.3. Algorithme général de vérification

On considère :

- Un ensemble de composants du système objet d'analyse, soit **G**
- Un ensemble de règles que les composants doivent satisfaire, soit **R**
- Un composant **c** du système. ($c \in G$)

L'algorithme se résume ainsi :

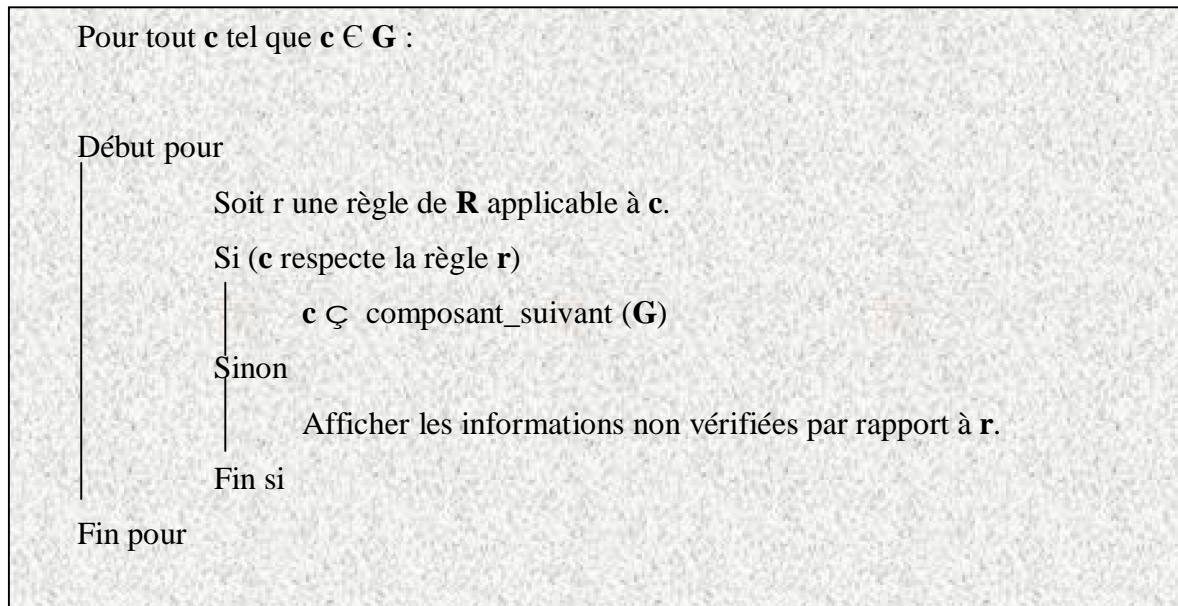


Figure 5.15 : Algorithme de vérification des données d'AMDEC. [OUH 2005]

Il est à noter que les règles de vérification sont spécifiques à chaque type de données à vérifier. Ainsi, certaines règles seront appliquées sur les composants, d'autres sur leurs fonctions, leurs défaillances, effets, causes et contrôles.

Conclusion

La génération des AMDECs selon l'approche basée sur les taxonomies permet d'avoir la complétude, la pertinence et la cohérence. Cependant il est impossible pour qu'un système logiciel sache, ce qui est pratiquement pertinent. Un système logiciel peut seulement traiter une information écrite dans un formalisme donné. Ainsi la notion de la complétude dépend du formalisme et des mécanismes d'inférence. Les différents formalismes permettent de différencier des approximations de l'exactitude et de la cohérence.

Selon cette approche, un utilisateur peut affecter pour chaque élément du système objet d'analyse, un ou plusieurs types de système dans la taxonomie du système et pour chaque fonction un type de fonction dans la taxonomie de fonction. Ceci mène à améliorer la cohérence dans la description du système, à une meilleure communication entre les membres d'un groupe d'AMDEC.

Étude de cas

Dans cette partie, nous présentons une étude de cas pour la réalisation d'une AMDEC d'un système de perçage automatique en suivant la démarche décrite dans le chapitre précédent.

A. Système de perçage automatique

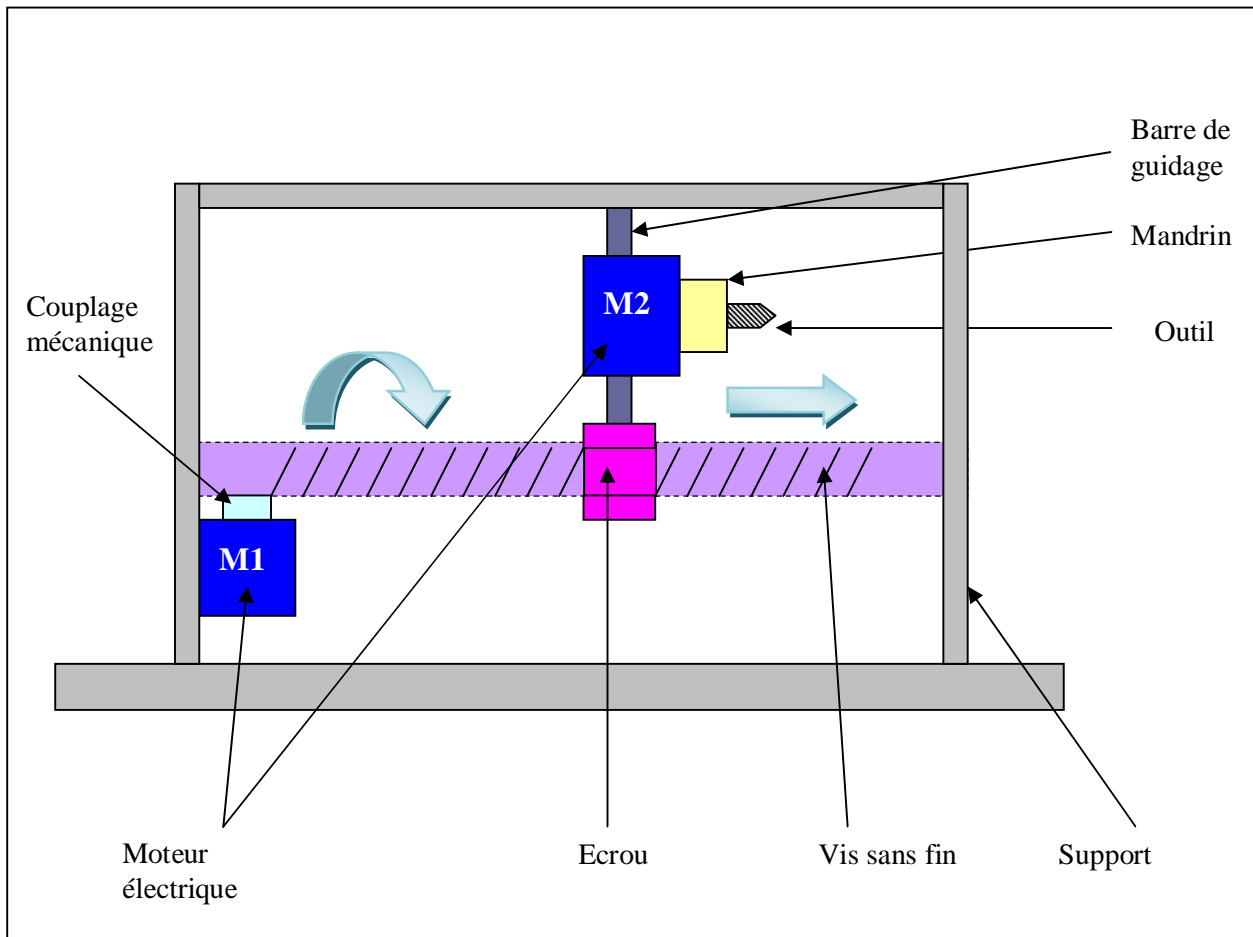


Figure 1: Schémas simplifié d'un système de perçage automatique

1. Principe de fonctionnement

Le système est formé de trois sous systèmes :

- sous système électrique 1 :
composé d'un moteur électrique (M1) et un couplage mécanique
- sous système électrique 2 :
composé d'un moteur électrique (M2) et un mandrin
- Sous système mécanique
comportant une vis sans fin, un support et une barre de guidage

Le moteur électrique (M1) transforme l'énergie électrique fournie en énergie mécanique, entraînant ainsi le mouvement de rotation de la vis sans fin par l'intermédiaire du couplage mécanique. Ce mouvement de rotation est transformé en mouvement de translation de l'écrou par le système vis sans fin –écrou. L'écrou étant solidaire à la barre de guidage, son déplacement provoque la translation du block (moteur électrique (M2)-mandrin), et permet ainsi le perçage à l'aide de la rotation de l'outil supporté par le mandrin.

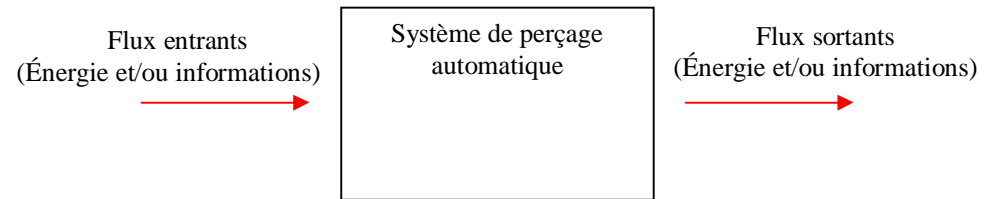
Nous notons que notre système objet d'analyse est plus simplifié, cela du fait que nous voulons évaluer l'efficacité de notre approche, et pouvoir appliquer dans des systèmes plus complexes.

B. Modélisation du système

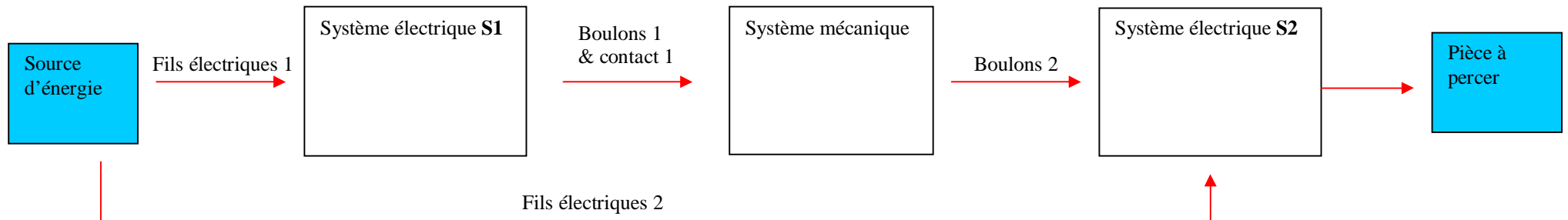
1. Block diagrammes fonctionnels

Selon les principes énoncés dans le chapitre précédent, le système se décompose comme suit :

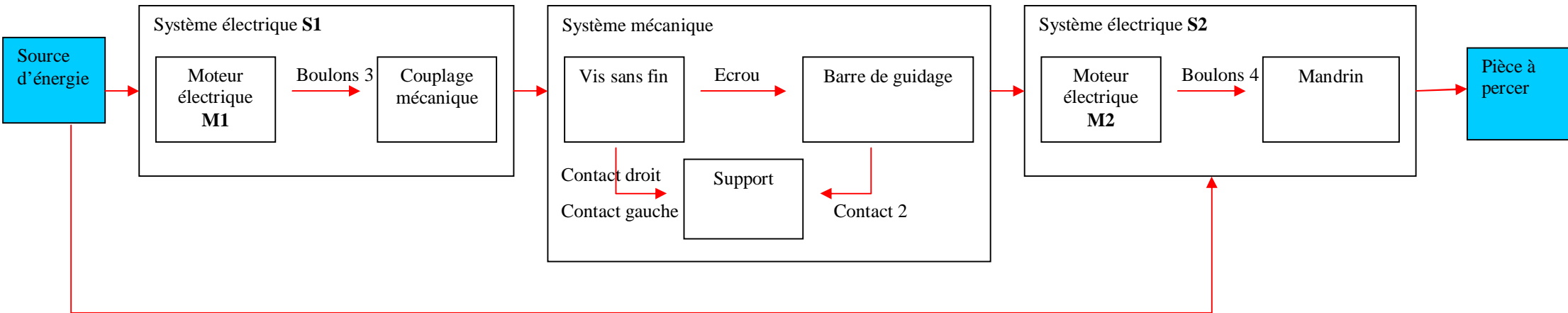
Niveau 0 de décomposition en chaînes fonctionnelles :



Niveau 1 de décomposition en chaînes fonctionnelles :



Niveau 2 de décomposition en chaînes fonctionnelles :



Pour enrichir le modèle fonctionnel, le diagramme hiérarchique du système objet d'analyse est modélisé

2. Block diagrammes fonctionnels hiérarchiques

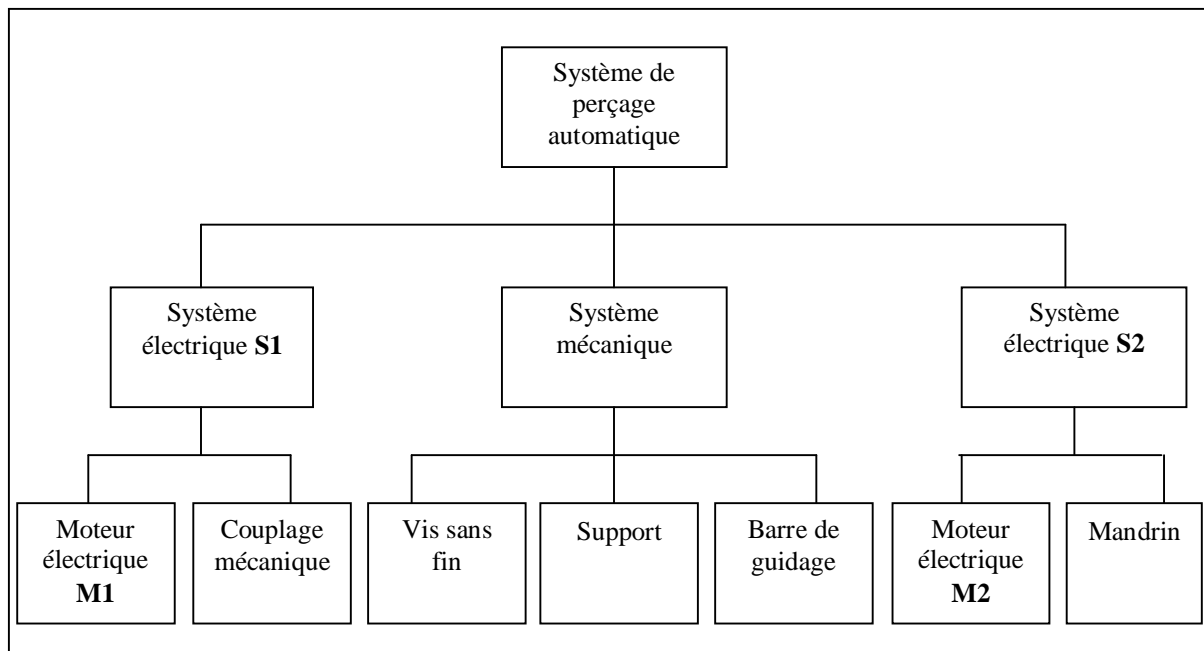
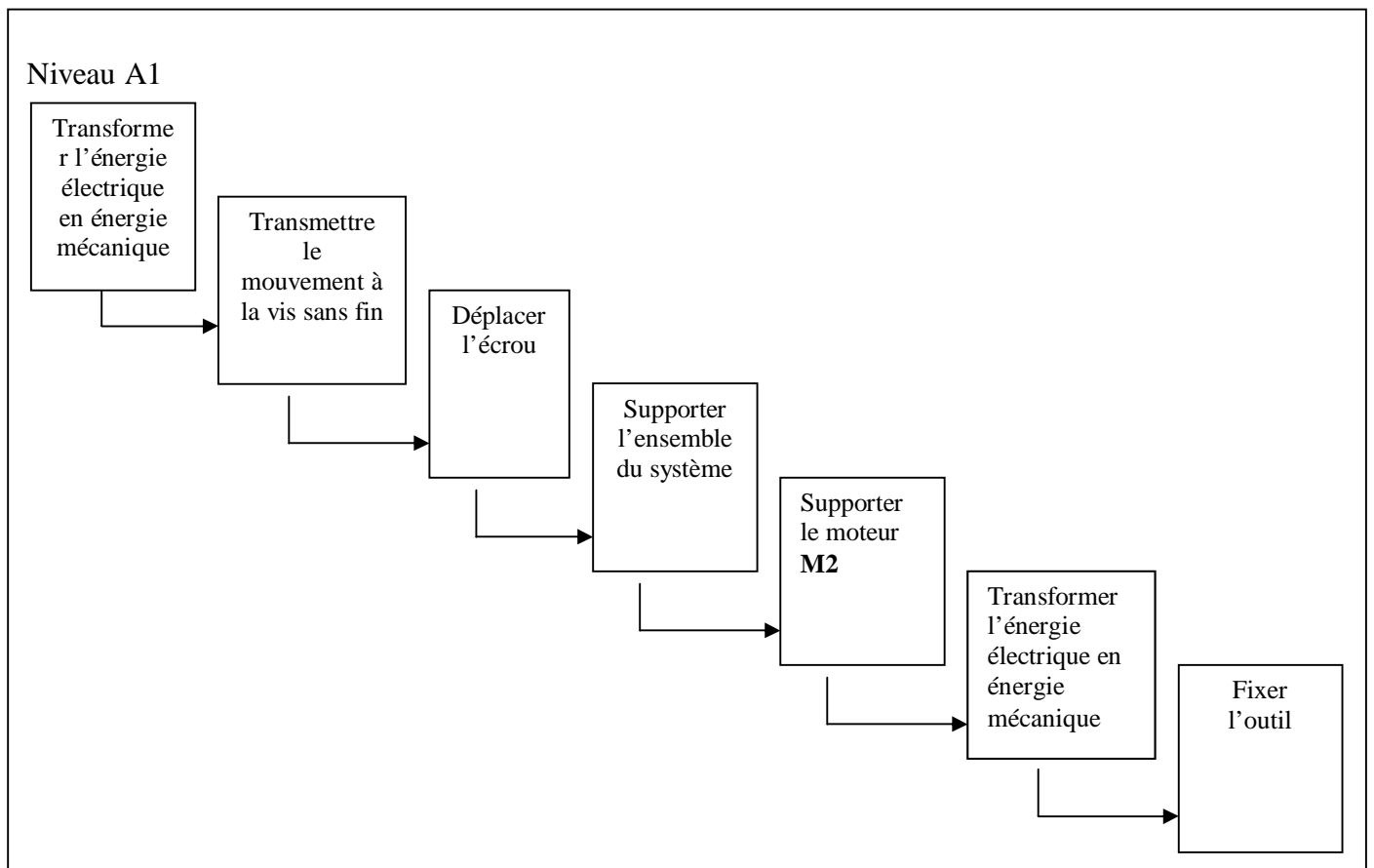
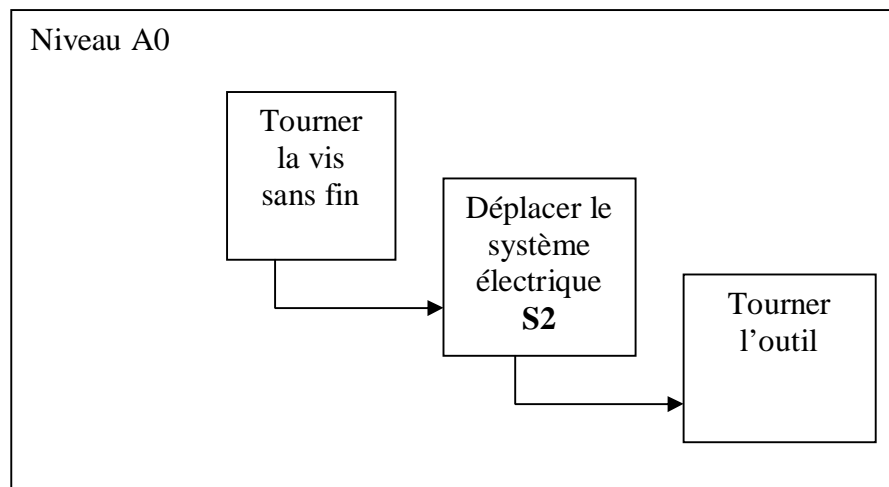
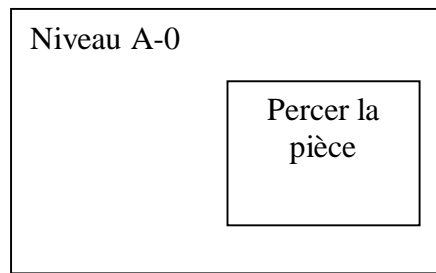


Figure 2: Diagramme fonctionnel hiérarchique

En utilisant l'outil de modélisation SADT, on obtient la décomposition suivante

3. Modélisation SADT

En utilisant l'outil de modélisation SADT, on obtient la décomposition suivante



4. Tableau des fonctions du système, des sous-systèmes et des composants

Eléments	Fonctions
Système de perçage automatique	Percer la pièce
Système électrique S1	Tourner la vis sans fin
Système mécanique	Déplacer le système électrique S2
Système électrique S2	Tourner l'outil
Moteur électrique M1	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique
Couplage mécanique	Transmettre le mouvement à la vis sans fin
Vis sans fin	Déplacer l'écrou
Support	Supporter l'ensemble du système
Barre de guidage	Supporter le moteur M2
Moteur électrique M2	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique
Mandrin	Fixer l'outil

5. Tableau des fonctions des liens :

Lien	Fonction
Fils électriques 1	Transporter l'énergie électrique
Fils électriques 2	Transporter l'énergie électrique
Boulons 1	Fixer le moteur M1
Contact 1	Lier le couplage mécanique à la vis sans fin
Ecrou	Permettre le déplacement du moteur M2
Contact de gauche	Permettre le glissement de la vis sans fin
Contact de droit	Permettre le glissement de la vis sans fin
Contact 2	Permettre le déplacement de la barre
Boulons 2	Fixer le moteur M2
Boulons 4	Lier le mandrin au moteur M2

C. Tableau de cotation

Echelle	Gravité	Fréquence	DéTECTABILITÉ
1	Gravité mineure	Moins d'une fois par trimestre	Détection efficace
2	Gravité significative	Moins d'une fois par mois	Détection efficace dans certains cas
3	Gravité majeure	Moins d'une fois par semaine	Détection peu fiable
4	Gravité catastrophique	Plus d'une fois par semaine	Aucune détection

D. Criticité (C)

$$C = G * F * D$$

Le seuil de criticité, dans notre travail est fixé à 8, c'est-à-dire des modes de défaillances présentant de criticité supérieure ou égale à 8 nécessitent des actions selon la sévérité de la criticité.

E. Grilles d'AMDEC :

Amdec Système de perçage automatique : Système électrique S1																
Eléments	Fonctions	Modes de défaillance	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Moyens de détection	Evaluation				Actions correctives	Résultats				Délai	Responsabilité
						G	F	D	C		G	F	D	C		
Moteur électrique M1	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique	Ne transforme pas l'énergie électrique en énergie mécanique	Pas courant électrique	Le couplage mécanique ne tourne pas	Visuel	2	1	1	2							Electricien
		Transformation partielle de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le couplage mécanique tourne de façon anormale	Visuel	2	2	1	4							Electricien
		Transformation intermittente de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le couplage mécanique tourne de façon anormale	Visuel	1	3	2	6							Electricien
		Transformation dépassant la limite attendue de l'énergie électrique en énergie mécanique	Forte intensité du courant	Le couplage mécanique tourne de façon anormale	Visuel	3	2	1	6							Electricien
		Transformation dégradante dans le temps de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le couplage mécanique tourne de façon anormale	Visuel	2	2	3	12							Electricien
Couplage mécanique	Transmettre le mouvement à la vis sans fin	Ne transmet pas le mouvement	Usure	La vis sans fin ne tourne pas	Visuel	1	2	3	6						Mécanicien	
		Transmission partielle du mouvement	Usure	La vis sans fin tourne de façon anormale	Bruit	3	1	1	3						Mécanicien	
		Transmission intermittente du mouvement	Usure	La vis sans fin tourne de façon anormale	Bruit	2	2	1	4						Mécanicien	
		Transmission dépassant la limite attendue	Usure	La vis sans fin tourne de façon anormale	Bruit	3	1	2	6						Mécanicien	
		Transmission dégradante dans le temps	Usure	La vis sans fin tourne de façon anormale	Bruit	3	2	2	12						Mécanicien	

Amdec Système de perçage automatique : Système mécanique																
Éléments	Fonctions	Modes de défaillance	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Moyens de détection	Évaluation				Actions correctives	Résultats				Délai	Responsabilité
						G	F	D	C		G	F	D	C		
Vis sans fin	Déplacer l'écrou	Ne déplace pas l'écrou	Usure	Le moteur M2 ne bouge pas	Visuel	2	1	2	4							Mécanicien
		Déplacement à mi-chemin	Manque de graisse	Le moteur M2 n'effectue pas son mouvement normal	Visuel	1	2	1	2							Mécanicien
		Déplacement intermittent	Usure	Le moteur M2 n'effectue pas son mouvement normal	Visuel	2	2	2	8							Mécanicien
		Déplacement dépassant la limite	Usure	Le moteur M2 n'effectue pas son mouvement normal	Visuel	1	3	1	3							Mécanicien
		Déplacement dégradé	Manque de graisse	Le moteur M2 n'effectue pas son mouvement normal	Visuel	2	1	1	2							Mécanicien
Support	Supporter l'ensemble du système	Ne supporte pas l'ensemble du système	Dérèglage	Pas de perçage	Bruit	3	1	2	6						Mécanicien	
		Supporte un sous-ensemble	Dérèglage	Mauvais perçage	Bruit	1	3	1	3						Mécanicien	
		Supporte de façon dégradée	Dérèglage	Mauvais perçage	Bruit	2	1	3	6						Mécanicien	
Barre de guidage	Supporter le moteur M2	Ne supporte pas le moteur M2	Dérèglage	Pas de mouvement du mandrin	Visuel	3	1	1	3						Mécanicien	
		Ne supporte pas bien	Dérèglage	Mauvais perçage	Visuel	3	1	3	9						Mécanicien	
		Supporte le moteur M2 de façon dégradée	Dérèglage	Mauvais perçage	Visuel	2	1	3	6						Mécanicien	

Amdec Système de perçage automatique : Système électrique S2																
Éléments	Fonctions	Modes de défaillance	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Moyens de détection	Evaluation				Actions correctives	Résultats				Délai	Responsabilité
						G	F	D	C		G	F	D	C		
Moteur électrique M2	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique	Ne transforme pas l'énergie électrique en énergie mécanique	Pas du courant électrique	Le mandrin ne tourne pas	Visuel	1	1	2	2							Electricien
		Transformation partielle de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le mandrin tourne de façon anormale	Visuel	1	3	2	6							Electricien
		Transformation intermittente de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le mandrin tourne de façon anormale	Visuel	2	1	2	4							Electricien
		Transformation dépassant la limite attendue de l'énergie électrique en énergie mécanique	Forte intensité du courant	Le mandrin tourne de façon anormale	Visuel	1	3	2	6							Electricien
		Transformation dégradante dans le temps de l'énergie électrique en énergie mécanique	Faible intensité du courant	Le mandrin tourne de façon anormale	Visuel	3	3	2	18							Electricien
Mandrin	Fixer l'outil	Ne fixe pas l'outil	Usure	Pas de perçage	Visuel	2	1	2	4						Mécanicien	
		Mauvaise fixation de l'outil	Déréglage	Mauvais perçage	Moyens de mesure	1	3	2	6						Mécanicien	
		Fixe l'outil de façon intermittente	Usure	Mauvais perçage	Moyens de mesure	3	1	2	6						Mécanicien	
		Fixation très serrée	Mauvais réglage	Mauvais perçage	Moyens de mesure	1	2	2	4						Mécanicien	
		Fixation défaillante dans le temps	Usure	Mauvais perçage	Moyens de mesure	2	1	2	4						Mécanicien	

Conclusions

Conclusion

L'utilisation de l'AMDEC peut paraître fastidieuse ; cependant, les gains qu'elle permet de réaliser sont très souvent bien plus importants que les efforts de mise en œuvre qu'elle suggère. La mise en œuvre de l'AMDEC offre une garantie supplémentaire pour l'entreprise industrielle dans l'amélioration continue de ses performances.

Cependant l'utilisation sans contraintes du langage naturel et le manque d'une méthodologie de conduite d'AMDECs sont identifiés comme problèmes fondamentaux de la méthode AMDEC. Ceci mène souvent à des descriptions incomplètes des systèmes et des fonctions, à des descriptions incohérentes et à une lourde réutilisation des connaissances d'AMDEC.

Notre démarche donne les possibilités pour diminuer les problèmes existants, dans la conduite d'une AMDEC. La technique de taxonomie est capable de faciliter la procédure d'AMDEC, de plus si les taxonomies sont normalisées, elles peuvent faciliter la communication entre différents partenaires d'une compagnie (exemple : entre fournisseur-fabricant). Cette technique offre également une possibilité d'établir un système de fabrication intégré en reliant les différents départements d'une entreprise. Par exemple la connaissance concernant les fonctions et leurs modes de défaillance peut être utilisé dans un système de diagnostic. Ceci peut résoudre le problème d'intégration.

L'implémentation de la démarche permettra aux utilisateurs de générer des AMDECs en un temps record, d'avoir des AMDECs complètes, cohérentes et de faciliter la réutilisation des anciennes d'AMDECs, du fait que les taxonomies fournissent un vocabulaire contrôlé. Le problème de mise à jour peut être aussi résolu avec un système de base de connaissance compréhensible, la possibilité d'expliquer la connaissance permet d'éviter les redondances dans le sens qu'il est impossible dans les bases de connaissances conventionnelles. Cette implémentation a été classée comme perspective et travail futur et cela à cause du temps qui nous a fait défaut.

Annexes

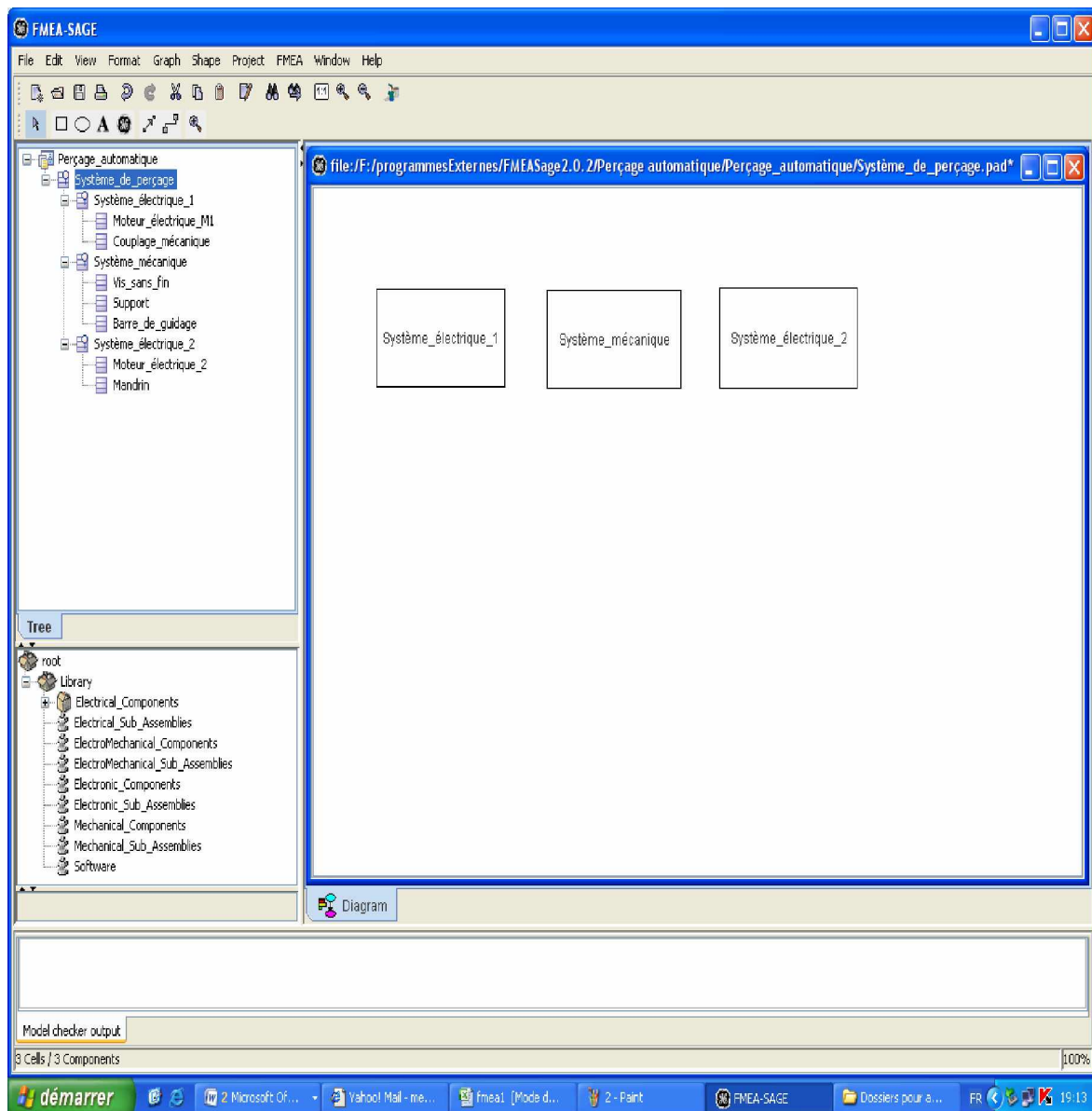


Figure 1 : Décomposition du système de perçage automatique

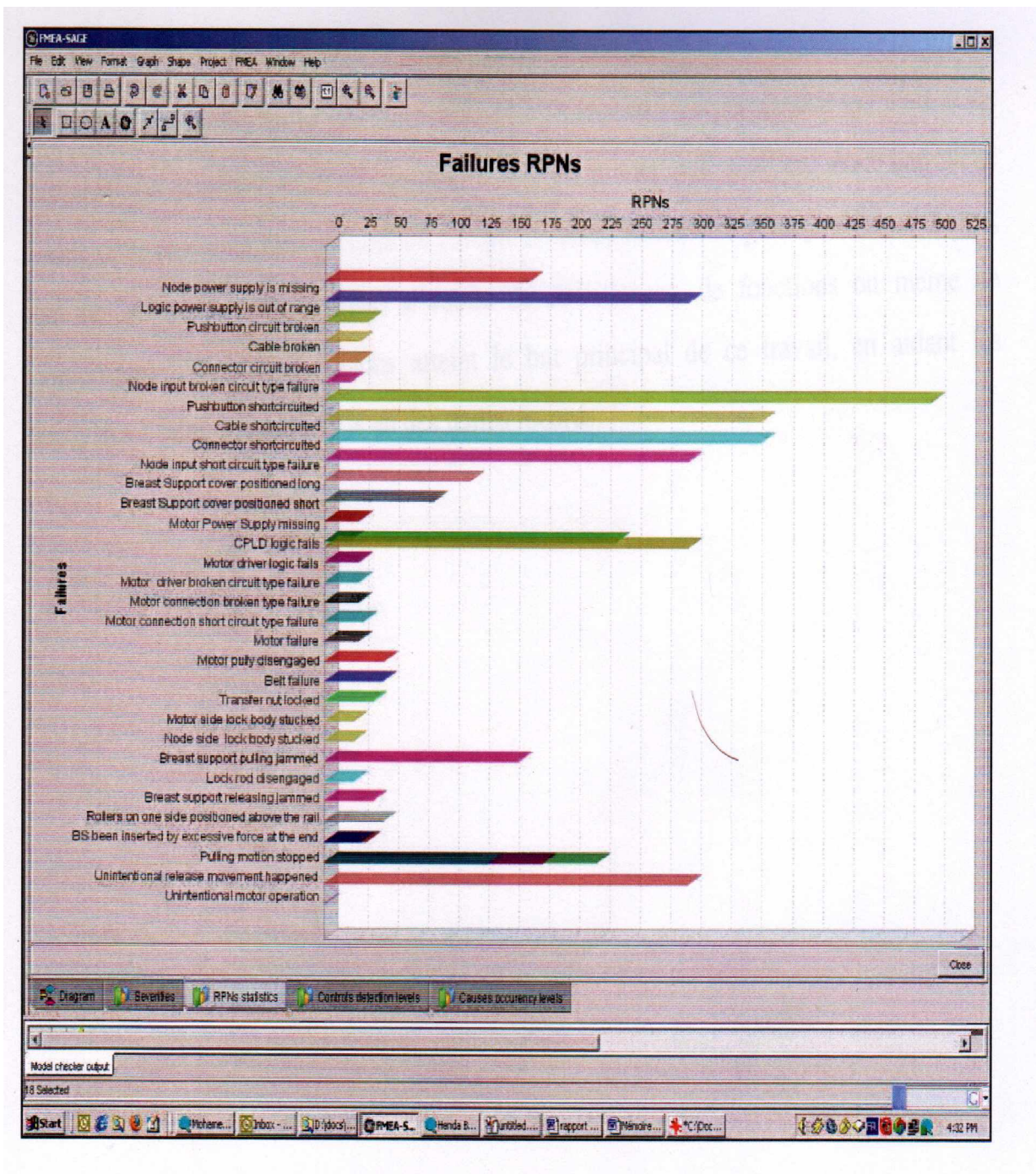


Figure 2: Exemple de statistiques sur RPNs

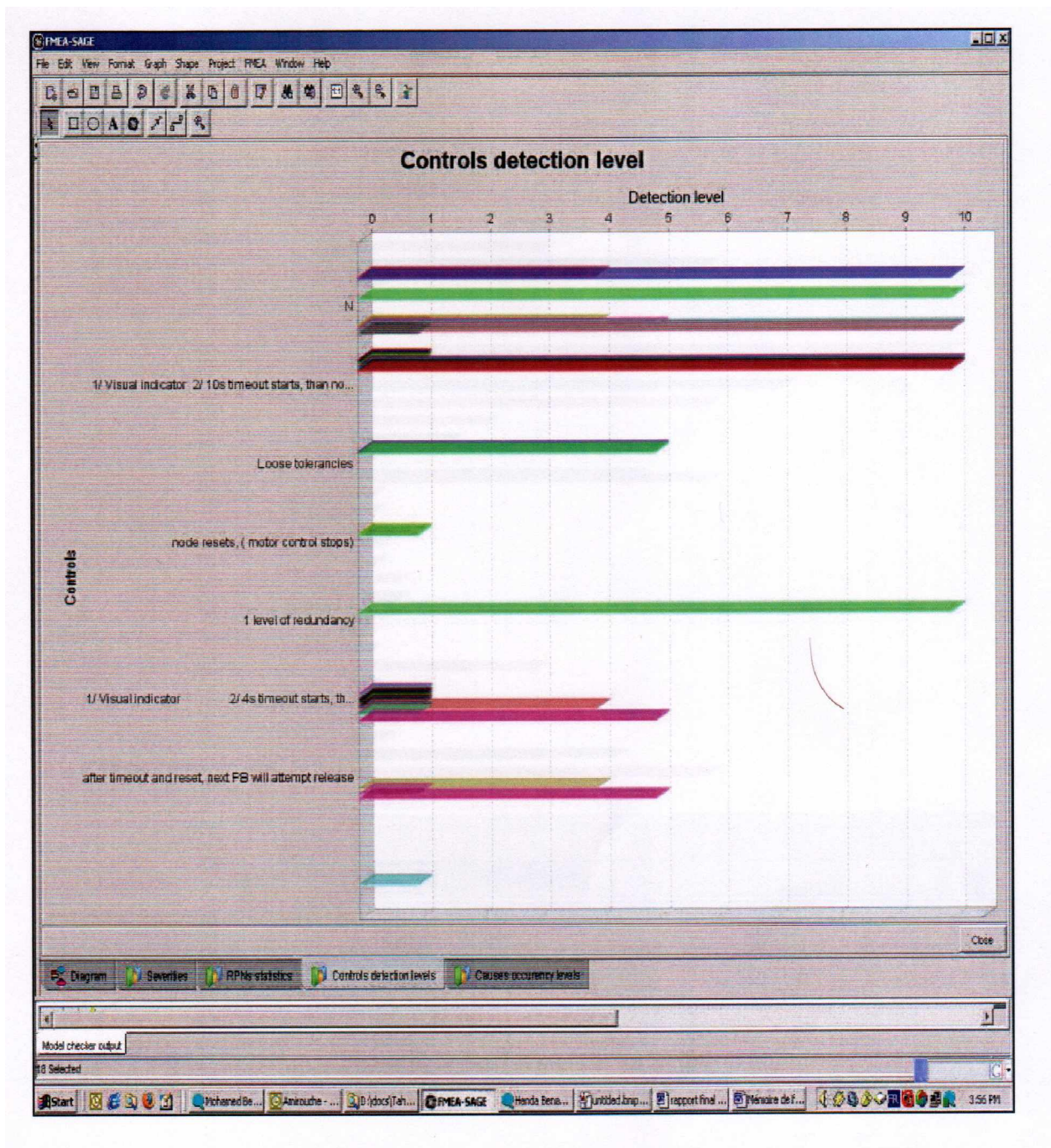
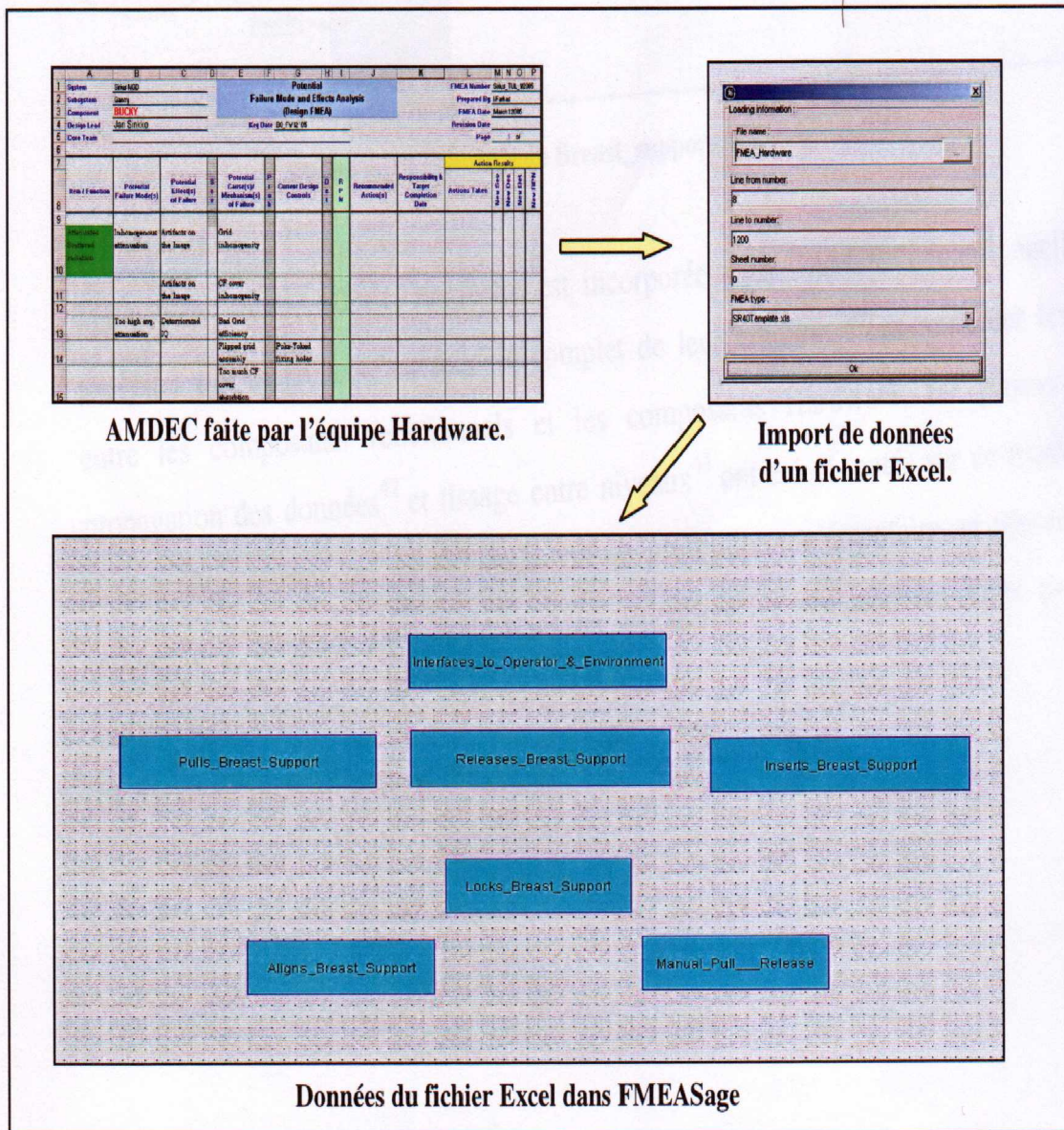


Figure 3 : Exemple de statistiques sur les niveaux de détections des défaillances



AMDEC faite par l'équipe Hardware.

Import de données d'un fichier Excel.

Données du fichier Excel dans FMEASage

Figure 5 : Processus d'import de données d'une AMDEC au format Excel.

GE Healthcare										
ANALYSIS PART MADE BY THE DESIGNER										
ENTITY:		OPERATING MODE:					OWNED BY:			
SUB-ENTITY		FUNCTION:								
RISK ASSESSMENT BEFORE RISK REDUCTION										
ID	Entity	Function	Failure mode	Failure cause	FAILURE EFFECT			Detection (at system level)		
					Local effect (worst case)	Final effect on safety (lowest identification)	Severity of Hazard (S) / Probability of Occurrence (P) / Risk Level			
8	AppButtonPanel	Launch Selection Panel through QC button on Viewer	Cannot open Selection panel	Method qcCB failure	Cannot use feature	4	None			
9			Crash of this functionality	Crash of method qcCB	Crash after pushing QC button in viewer	1	None			
10				Crash of method updateQCButtonPanelForFRA						
11				Crash of method setQualCheckStat						
12	DSA-Board	Set default Status, Reason and other reason values	Does not set default values for FRA Status, Reason and otherReason	Call for method setDefaultStatusAndReasonForSelectedImage failed	Wrong workflow	3	Log trace information			
13				Wrong value for isFRAEnabled	Wrong update of Selection Panel	3				
14					Wrong information in FRA database	3				
15					Wrong FRA statistics	3				
16			Crash of this functionality	Crash of method setDefaultStatusAndReasonForSelectedImage	Crash during acquisition, (HFRAY) already displayed and written on disk - Before call for processing	6	None			
17					Miss information in FRA Database	3				
18					Wrong FRA statistics	3				
19		Launch through AppButtonPanel the Selection Panel	Cannot open Selection panel	Method getRepeatRepeatMethodController failure	Cannot use feature	4	None			
20				Method setQCFromPanel failure						
21			Crash of this functionality	Crash of method setQCFromPanel	Crash after pushing QC button in viewer	5	None			
22				Crash of method getRepeatRepeatMethodController			Sends a SE_FAILURE in case opening of Selection Panel fails			
23	Quality_check	Allow to pop-up Selection Panel after Processed displayed	Performs wrong Boolean value	Method isQualityCheckOn failure	Cannot update FRA Database	3	None			
24					Wrong workflow	3				
25					Cannot open Selection Panel	3				
26			Crash of this functionality	Crash of method isQualityCheckOn	Crash during acquisition, (Processed) already displayed and written on disk	5	Check that RepeatRepeatMethodController instance is non-NULL			
27							Check that dsabowit instance is non-NULL			
28	RepeatProject_DB	Build FRA Database.xml file from Status, Reason and otherReason dictionaries	Cannot build in correct format the FRA Database.xml file	Method updateStrongStatusAndReason failure	Wrong information in database	3	None			
29				Method writeRepeatProjectCB failure	Wrong format for FRA Database	2				

Figure 6 : AMDEC générée avec FMEA-Sage.

Bibliographie

Bibliographie

Ouvrages :

[FAU 2004] FAUCHER J, Pratique de l'AMDEC, Editions DUNOD, 2004, Paris.

[LAN 2002] LANDY G, AMDEC : guide pratique, Editions AFNOR, 2002, Paris.

[RIO 1994] RIOU J, Le guide de l'AMDEC machine, Editions CETIM, 1994

[OUH 2005] OUHROUCHE. T, S.BABACI « Conception et réalisation d'un générateur semi-automatique d'AMDECs », PFE, INI-Alger, Septembre 2005.

[BEN 2006] BENKHEMOUCHE. N, DOUMANDJI. L, « Contribution à l'amélioration des moyens et de l'organisation de la fonction maintenance Application Michelin Algérie », PFE, ENP-Alger, Septembre 2006.

Articles :

[Art 1] RIDOUX M, AMDEC – Moyen, Techniques de l'ingénieur, traité : L'entreprise Industrielle, AG 4 220.

[Art 2] WIRTH R, BERTHOLD B, KRAMER A, PETER G , Knowledge-Based support of System Analysis of Failure Mode and Effects Analysis, 1996.

[Art 3] DITTMANN L., RADEMACHER T., ZELEWSKI S., Performing FMEA using ontologies, 2004.

Webographie :

[Web 1] DEVINCI Conseil - Stratégie et organisation industrielle - Ingénierie des produits et des process « Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité » http://asso2p.free.fr/telecharger/cours_gestion_projet/Base%20de%20connaissance%20AMDEC.pdf

[Web 2] Analyse Fonctionnelle (AF) http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/Analyse_Fonctionnelle.htm

[Web 3] Analyse Fonctionnelle (conception) http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_fonctionnelle_%28conception%29

[Web 4] P. SEVERIN, Lycée des métiers de l'hôtellerie et du tourisme de Toulouse, « L'analyse Fonctionnelle, de la méthode aux outils... » http://pedagogie.ac-toulouse.fr/biotech-sante-envir/1_analyse_fonctionnelle.pdf

[Web 5] GRAFF J.P, Dossier technique du CRTA « Dossier n°3 La méthodologie de l'AMDEC », Novembre 2004

<http://www.crta-avignon.com/PDF/D03.pdf>

[Web 6] Web sémantique Ontologie

<http://websemantique.org/Ontologie>

[Web 7] Ontologies informatiques

<http://interstices.info/antologie>

[Web 8] BRISSON Laurent, Mesures d'intérêt subjectif et représentation des connaissances, Projet EXECO, Rapport de recherche ISRN I3S/RR-2004-35-FR, Octobre 2004

<http://www.i3s.unice.fr/~mh/RR/2004/RR-04.35-L.BRISSON.pdf>

[Web 9] CHARLET Jean, BACHIMONT Bruno, TRONCY Raphaël, Ontologie pour le Web sémantique.

http://www.zongo.toulouse.inra.fr/~nathalie/public/misesEnLigneModelia/999999_fichesTechniques/lesPdf/webSemantique.pdf

[Web 10] DAMERON Olivier, Modélisation, représentation et partage de connaissances anatomiques sur le cortex cérébral, Thèse de doctorat, Faculté de médecine, Université de Rennes, Décembre 2003

<http://idm.univ-rennes1.fr/~odameron/thesis/dameronThesis.pdf>

[Web 11] Méthode APTE

Encyclopédie libre www.wikipédia.com

Autres sites Internet consultés :

AMDEC

<http://chaqual.free.fr/outils/amdec/methodologie.html>

Les outils de la qualité

http://www.azaquar.com/outils/histoire_amdec.html

Veille technologique : Ingénierie Ontologique Concepts, méthodes et outils

www.irit.fr/ASSTICCOT/GroupeIC/Ing-Onto.ppt

The Function-Failure Design Method

<http://function.basiceng.umn.edu/delabsite/publications/journals/FFDM-JMD%20accepted-v2.pdf>